DICIEMBRE 2001 - Nº 43

# REVISTA ingeniería

ORGANO OFICIAL DE LA ASOCIACION DE INGENIEROS DEL URUGUAY

AIU 1905

# LAS RUTAS

# PUEDEN LLEVARTE

# A CUALQUIER PARTE ...

Achard Algorta

## ... INCLUSO A LO DESCONOCIDO.

DIA A DIA MEJORAMOS LAS RUTAS NACIONALES
PARA AUMENTAR SU SEGURIDAD.
NO SU VELOCIDAD.
MANEJE CON PRUDENCIA.

MINISTERIO DE
TRANSPORTE
Y OBRAS PUBLICAS

REVISTA ingeniería

Comisión Directiva de la
Asociacion de Ingenieros del Uruguay

**Presidente**
Ing. Ind. Eduardo R. Alvarez Mazza

**Vice-Presidente**
Ing. Ind. Walter Dura

**2º Vice - Presidente**
Ing. Ind. Joaquín Próspero

**Secretario**
Ing. Mec. Carlos Malcuori

**Pro - Secretario**
Ing. Civ. Marcos Bigatti

**Tesorero**
Ing. Ind. Mec. Alfredo De Santiago

**Pro - Tesorero**
Ing. Ind. Mec. Daniel Martínez

**Vocales**
Ing. Civ. Enrique Penadés
Ing. Comp. Silvana Olivera
Ing. Civ. Elena Ferreira
Ing. Ind. Federico Cvetreznik

**Gerente**
Daniel Ferreiro

**Redactor Responsable**
Ing. Joaquín Próspero Cassou
Gral. French 2279

**Diseño Gráfico**
Contraarte
Achiras 1377 - Tel.: 709 00 44

**Administración y Publicidad**
Editora de revistas S. R. L.
Vázquez 1434.
Tel. 401 45 11, telefax: 408 50 09

**Impresión**
Imp. AURELIA - D. L. Nº 257.156-96

Todos los derechos reservados. Los artículos firmados que se publiquen son de total y exclusiva responsabilidad de sus autores y la Dirección de la Revista no se solidariza necesariamente con las opiniones en ellos expuestas. De acuerdo a las recomendaciones de la II Convención de UPADI se permite la transcripción de artículos o pasajes de los mismos solamente con la autorización previa y la indicación de la fuente respectiva. Toda correspondencia debe ser encaminada a la Redacción: Cuareim 1492, tel.: 901 17 62, fax: 900 89 51. E-mail: asocing@adinet.com.uy. Internet: www.artech.com.uy/aiu.
Por suscripciones dirigirse a la Redacción. Publicación exonerada de todos los impuestos nacionales (Resolución del P. E. del 13/5/1965). Precio del ejemplar $ 20, (50% de descuento para estudiantes de Ingeniería.
ISSN 0797-05060

La Asociación de Ingenieros del Uruguay está integrada por los siguientes profesionales universitarios. Ingenieros: Civiles, Electricistas, Industriales, Industriales Electricistas, Industriales Eléctricos, Industriales Mecánicos, Mecánicos, Navales, Sist. en Computación.

Editorial

# La ingeniería y la A.I.U.

En sucesivos editoriales anteriores hemos insinuado una línea desde "la ingeniería y la sociedad" y hacia "la ingeniería para la sociedad".

Con la Comisión Directiva que me acompaña hemos trazado esa línea y hemos desarrollado una intensa actividad de divulgación de la Ingeniería nacional recorriendo aspectos del pasado, de la situación actual y del futuro.

Es así que, ubicándonos en la historia, hemos realizado varias reuniones con excelentes disertaciones como por ejemplo "Los cien años de la construcción del Puerto de Montevideo" simultáneamente con la exhibición de un importante conjunto de láminas y fotografías de la obra. Más recientemente otras magníficas disertaciones referentes a la construcción de la central hidráulica Dr. Gabriel Terra, conocida como Rincón de Bonete; corresponde señalar que esta disertación pasó revista a múltiples aspectos de esa obra: las primeras ideas, los anteproyectos de la década de 1930, la discusión parlamentaria, el importante rol de la Asociación de Ingenieros, el proyecto definitivo, la construcción de la represa, el suministro de equipo inicialmente de origen alemán, el cambio a tecnología de origen norteamericano, la construcción e instalación final, la puesta en marcha con total éxito en 1945, la inundación de su sala de máquinas con las crecidas de 1959, la reparación y puesta en marcha y finalmente, invadiendo el presente, la renovación de la central y su puesta a nueva en 1996. La reunión tuvo momentos de gran emotividad: durante la disertación los ingenieros Ferreño y Maisonnave citaron a los 6 ingenieros denominados "héroes de la represa", uno de los cuales se encontraba en el panel , el ingeniero Vázquez Praderi. También se encontraba la hija del ingeniero Rezzano, madre de un directivo de la Asociación y dos operarios que trabajaron en la represa: el Sr. Rudecindo Mauttone y su hijo el Sr. Elbio Mauttone. Estas personalidades al final de la Conferencia se encontraron en un gran abrazo y en una enorme cantidad de anécdotas y recuerdos de la época de la construcción.

En otras reuniones divulgamos temas de la ingeniería actual como por ejemplo, la mega concesión de obras publicas con la disertación del Ing. Lucio Cáceres Ministro de Obras Públicas.

Podríamos indicar que en el rubro de la ingeniería mirando hacia el futuro, realizamos un desayuno de trabajo con la participación y disertación del ingeniero Bracco sobre el Proyecto y Plan Mercurio.

A la breve reseña anterior, sin la intención de ser exhaustivo, se han agregado reuniones especiales como ser: una dedicada al Acero Inoxidable y su utilización; otra al Organismo Uruguayo de Acreditación; otra al Plan de Desarrollo Tecnológico, otra a UNIT-ASTM...

Luego de la intensa campaña realizada se me ocurren dos reflexiones: una muy importante y otra que me despierta una interrogante. La primera es que recorriendo la historia, el presente y futuro de estas importantísimas obras y gestiones encontramos los verdaderos valores de la ingeniería; la segunda es que aun no hemos encontrado explicación al hecho de que una gran cantidad de colegas socios, no nos acompañan en los eventos que componen esa campaña por la sencilla razón de que no se enteran a tiempo, a pesar de recibir el Noticiero de la Asociación, el Semanario Crónicas, las invitaciones por Correo y por e-mail y las invitaciones telefónicas.

*Ing. Eduardo R. Alvarez Mazza*
*Presidente*

# Sumario

Nº 43

REVISTA ingeniería


## Sistemas de detección de incendios

Ing. Civil Federico Cvetreznik

En lo que significa un enorme avance en la seguridad de vidas de los ocupantes de edificios, hoy la Dirección Nacional de Bomberos exige sistemas de detección de incendio en casi todas las aplicaciones.

**3**

## Optimización del manejo de un monte sometido a raleos

Ing. Civil Douglas Simonet Fletcher
Ing. Agrónomo Eduardo Juan

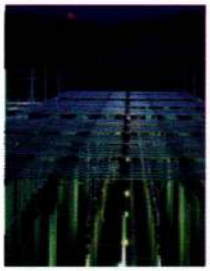
El Ingeniero Douglas Simonet Fletcher nos envía este trabajo que fuera presentado en el Simposio Internacional "Desarrollando el Eucaliptus del Futuro", Valdivia, Chile. El Simposio, que se desarrolló del 10 al 15 de setiembre de 2001, fue organizado por la IUFRO (Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal) y el INFOR (Instituto Forestal, Chile).

**4**

## Electricidad de Biomasa: la revolución silenciosa

por Stanniforth Webb, Corresponsal especial de LPS

## Aumenta la producción de paneles solares



Los siguientes artículos fueron tomados de la publicación *HACIA EL MAÑANA*, de fecha octubre 2001 editada por los Departamentos de Información y Comercial de la Embajada Británica.

**11**

Un ejemplo de la Ingeniería en la Historia

## Historia de la Catedral de Montevideo y de su restauración

Cuando no existía nuestra Catedral en el Montevideo colonial del siglo XVIII, era una intensa aspiración del cura párroco de la época, la construcción de la misma, por lo cual escribió repetidas veces a les autoridades eclesiásticas españolas, rogando a ellos por el envío de planos para la ejecución de las obras, cosa que realizaría con el apoyo de todos sus fieles.

**13**

## Flashes Informativos

Nuevo sistema de chapa y elastómeros revoluciona la construcción de cascos de barcos

Composición promedio del precio de venta al público de fuel oil calefacción en E.E.U.U.

Composición promedio del precio de venta al público de nafta en E.E.U.U.

**24**

# Sistemas de detección de incendios

*Ing. Ind. Mec. Federico Cvetreznik*

En lo que significa un enorme avance en la seguridad de vidas de los ocupantes de edificios, hoy la Dirección Nacional de Bomberos exige sistemas de detección de incendio en casi todas las aplicaciones.

Los sistemas de detección no son sustitutos de los sistemas de extinción o combate de incendios, son complementarios. De nada sirve un sistema de detección si una vez detectado el incendio no disponemos de medios para combatirlo.

Aquí también vale mencionar que los extintores manuales por su capacidad limitada, solo pueden combatir incendios pequeños o recién iniciados. Para un correcto programa de prevención de incendios es necesaria una instalación fija de extinción ya sea de operación manual (mangueras) o automática (rociadores o gases extintores).

Pero lo que nos trae hoy es dar un breve panorama sobre los sistemas de detección.

Estos sistemas están constituidos por: sensores de incendio (humo, llamas, temperatura, chispas, etc.), anunciadores de incendio manuales, una central que procesa estas señales y una red de avisadores de alarma de incendio.

Existe una asociación internacional muy referida en esta especialidad, la NFPA, que regula este tipo de instalaciones y nos referiremos a las condiciones que sugiere esta institución.

Entre los sensores de humo, los hay del tipo fotoeléctrico que operan por oscurecimiento y del tipo iónico que operan por cambios en la conductividad del aire (más sensibles).

Los sensores de temperatura operan por calentamiento del aire, dando alarma a una temperatura establecida o ante un aumento rápido de la temperatura ambiente.

Debido al área de cobertura limitada de los sensores, es necesario realizar una cuidadosa distribución en los ambientes, de forma de cubrir todas las áreas de riesgo.

Los anunciadores manuales son pulsadores que envían una señal provocada manualmente a la central de incendio.

Todas las señales son procesadas en la Central de Incendio. Hay varios tipos de centrales. Comenzando por las más sencillas llamadas convencionales, su capacidad se determina por la cantidad de "zonas", cada una de ellas puede recibir señales de hasta 20 sensores, pero sin distinguir cual de los 20 está enviando la señal. Estas centrales se usan en aplicaciones medianas y pequeñas, debido a que para determinar que área está en alarma, es necesario recorrer todos los ambientes.

Luego vienen las centrales direccionables. En estas podemos recibir señales de hasta 96 sensores (en algunas marcas aun más) en un sola "zona", identificando cada sensor en la central. Así sabremos que sensor está dando la alarma desde la propia central. Además nos dan una información del estado de funcionamiento del sistema.

Finalmente están las centrales análogo-direccionables. Este tipo de central es capaz, además de realizar las funciones de las anteriores, de comunicarse con cada sensor para modificar sus parámetros de sensibilidad, analizar la señal recibida y tomar decisiones preprogramadas, etc. Este tipo de centrales nos permite modificar la sensibilidad de los sensores automática o manualmente, por ejemplo para aumentar la sensibilidad durante la noche y los fines de semana y disminuirla durante los horarios de trabajo en los cuales hay humo de cigarrillos y polvo que podrían dar falsas alarmas.

Por último, están los avisadores sonolumínicos de alarma. Estos dispositivos están reglamentados por la ADA (American Dissabilities Act) en cuanto a los niveles acústicos y lumínicos. Se deben instalar en las salidas de los ambientes, corredores de conexión, entradas a escaleras de escape, etc.

Debe haber uno por lo menos en cada piso y con distancias menores a 16 mts de cualquier punto de la planta.

Un aspecto importante que deben prever las centrales de incendio es el registro de eventos. Esta característica nos facilita las tareas de mantenimiento y en los eventos de incendio nos dan información precisa de la evolución del siniestro. Como la cantidad de registros durante un incendio importante puede superar la capacidad de registro de la central, es necesario respaldar estos registros en otro sitio, puede ser el disco duro de un computador de apoyo o una impresora.

Tenemos entonces un panorama de cómo está conformados los sistemas de detección. Pero es necesario destacar que las señales de un sistema de detección además de alertar a los ocupantes, deben ser recibidas por personas entrenadas para tomar las medidas de combate de incendio. Las centrales deben estar vigiladas por personal asignado a la seguridad del edificio o monitoreadas por una empresa de vigilancia remota las 24 horas del día. De esta forma se puede dar la alarma a Bomberos para que tome el control del incendio en el menor tiempo posible.

**Este artículo fue elaborado por el Ing. C. Federico Cvetreznik Rezzano, Consultor en Acondicionamiento Térmico e Incendio, docente de la Facultad de Arquitectura y miembro de ASHRAE y NFPA.**

# Optimización del manejo de un monte sometido a raleos

*Ing. Civil Douglas Simonet Fletcher*
*Ing. Agrónomo Eduardo Juan*

## RESUMEN

En este trabajo se presenta una metodología para la optimización de la Tasa Interna de Retorno del manejo de un monte de eucaliptos *grandis* sometido a raleos.

Para ello se consideran como gastos los costos de inversión, funcionamiento y los costos y momentos de poda. Como ganancia se considera un valor líquido de la venta de madera (el bruto menos los costos de corte y transporte).

La metodología desarrolla un modelo planteado en ecuaciones diferenciales, que permite calcular alturas y volúmenes en función del tiempo a medida que se efectúan raleos y también define un árbol teórico (cilíndrico en la base, de diámetro igual al diámetro de altura de pecho (DAP), y con forma de "paraboloide" en la parte superior, de igual volumen al del árbol calculado por el modelo e igual coeficiente de forma de un árbol real representativo del monte en estudio), que permite conocer de forma bastante aproximada el diámetro en función de la altura. En el "II Congreso Nacional y II Congreso Regional del Cono Sur", (Montevideo, 1999) organizado por la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria, se presentó "3Sim, Modelo de Predicción de Crecimiento de Poblaciones" (D.Simonet,1999), que es un modelo formalmente análogo al que se presenta en este trabajo y que se adapta al pronóstico de producción de madera en bosques con y sin raleos. El cálculo de las alturas es formalmente la ley de acción de las masas, que da como resultado una función de las utilizadas para el ajuste de alturas. Conocidos altura, volumen y conociendo el coeficiente de forma se determina DAP.

Conociendo la cantidad de madera, el número de árboles y la forma del árbol a través del tiempo, se lo puede "cortar" teóricamente en trozas de dos metros cincuenta (en el caso que se estudia) y calcular el valor de cada troza al conocer sus dimensiones, si se le efectuó poda o no y el valor de la madera en función del diámetro y destino (descarte, pulpa, aserrío) y así completar todos los elementos necesarios para optimizar el flujo de caja.

Se estudia un monte sometido a dos raleos y turno final. Las variables son densidades iniciales y después de cada raleo, los momentos de raleo y de turno final, en total seis variables. Se establecieron como restricciones densidades máximas y mínimas de plantación y densidad mínima de turno final, cuándo se inician los raleos y el máximo tiempo de turno final.

Para las corridas de optimización se usa un software de la Palisade Corp. (Evolver) que utiliza algoritmos genéticos, sobre una planilla Excel.

Cabe destacar que pese a que los cálculos de volúmenes, alturas, diámetros y forma del árbol son desarrollos teóricos, las formas de las curvas de crecimiento tienen un andamiento similar al de las curvas reales, y tienen un número de parámetros suficiente como para obtener ajustes aceptables. Esta posibilidad de ajustes adecuados a las curvas reales, que será presentada en el trabajo, es lo que le da justificación a esta metodología y validez a los resultados obtenidos, que, obviamente, dependen de las relaciones de los costos y ganancias.

Fig. 1 - ALTURAS

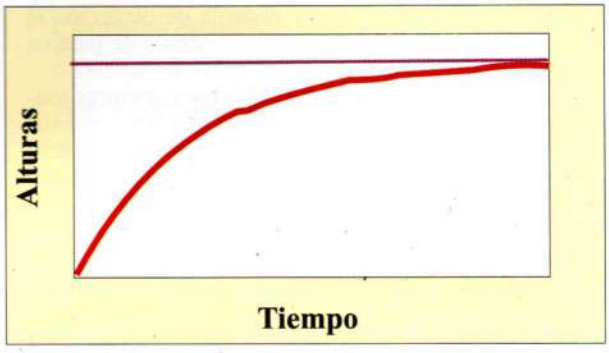
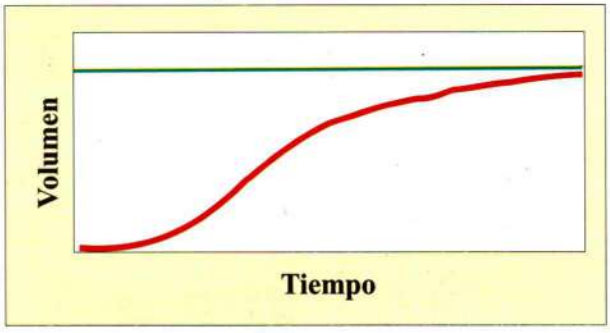



Fig. 2 - VOLUMEN




## INTRODUCCION

La optimización de la TIR de un monte sometido a raleos, que es el objetivo de este trabajo, presenta la dificultad de predecir en el tiempo cuánta madera habrá en el monte y qué forma tendrá el árbol a medida que se efectúan raleos. Para calcular el valor del monte no basta con conocer únicamente el volumen, es necesario conocer el como varía el diámetro en función de la altura para poder darle un valor exacto a la madera, es claro que la utilización de valores medios para estimar su valor puede conducir a errores considerables.

Si lo que se quiere es optimizar, se deberá calcular la TIR en función de las distintas variables y parámetros que intervienen y maximizar su valor, eso es lo que este trabajo pretende resolver.

Con respecto a los gastos, no existen dificultades conceptuales, ni para estimar su valor ni para determinar cuándo se hace.

Sí existen problemas con las ganancias, porque es necesario conocer como evoluciona el bosque antes y después de raleado y por otro lado también es necesario conocer los diámetros en función de la altura para estimar con más aproximación el valor de la madera. En este trabajo por razones de simplicidad se considera que el monte se vende en pie (en ese precio están descontados, todos los gastos de cosecha, carga, transporte, etc.) y en trozas de 2.50 metros, el valor de la troza estará dado por su diámetro menor.

Para resolver estas dificultades metodológicas se proponen tres modelos teóricos:

- Un modelo para cálculo de alturas.
- Un modelo para cálculo de volúmenes.
- Un modelo de árbol teórico, que permite conocer el diámetro en función de la altura.

Estos modelos, que se ajustan con los valores experimentales, presentan sus resultados como funciones analíticas, lo cual permite la utilización de software estándar de optimización. A partir de los resultados obtenidos de estos modelos es posible conocer el crecimiento después de efectuar los raleos y calcular los diámetros en función de la altura.

## CALCULO DE ALTURAS

Para el cálculo de la altura de los árboles puede suponerse que tiene una velocidad de crecimiento que depende de la altura y del tiempo, lo cual puede expresarse, llamando ***H (t)*** a la altura en función del tiempo, mediante la ecuación diferencial:

$$\frac{dH(t)}{dt} = f[H(t),t] \qquad (1)$$

Para el caso de monte implantado, se puede admitir que la velocidad de crecimiento es proporcional al incremento de altura con relación a un cierto valor $H_m$, o sea que la ecuación (1) quedaría de la forma:

$$\frac{dH(t)}{dt} = \alpha \times [H_m - H(t)] \qquad (2) \quad \alpha = cte > 0$$

En el caso de un monte implantado, al inicio será $H(0)=0$, $t_0=0$, con lo cual la solución de la ecuación (2) (lineal de primer orden con coeficientes constantes) será de la forma

$$H(t) = H_m \times (1-e^{-\alpha x t}) \qquad (3) \quad t \leq 0$$

La ecuación (3) representa la altura del árbol, que no supera el valor $H_m$, Fig. 1, al cual se aproxima asintóticamente, y que, de acuerdo a las hipótesis adoptadas, es independiente del número de raleos y densidades de plantación. La ecuación (3) es, formalmente, una de las tantas fórmulas que se proponen en la bibliografía para predicción de crecimiento de alturas. Se podría haber obviado el desarrollo teórico y admitir la validez de (3), pero ello estaría fuera del contexto del desarrollo teórico de este trabajo.

## CALCULO DE VOLUMENES

El análisis del volumen plantea una problemática más compleja que el análisis de las alturas, en efecto, sea $V(t)$ la expresión del volumen de madera en el tronco en función del tiempo, en una unidad de superficie, por ejemplo $m^3$/Há.

COMPAÑIA URUGUAYA
DE CEMENTO PORTLAND S.A.
ARTICOR
CEMENTO ARTIGAS PORTLAND
PEGAMENTO PERFECTO EXTRA
María Orticochea 4707. Tel.: 309 2810. Fax: 307 1178. E-mail: cucpsay@netgate.com.uy

Admitiendo que para conocer su variación es necesario conocer no solamente su valor en el instante inicial, sino también su variación (la derivada de $V(t)$, $\frac{dV(t)}{dt}$), es decir que se debería conocer lo que se podría llamar "estado de crecimiento" del monte, lo que lleva a establecer una analogía con el "estado de movimiento" y con las ecuaciones del movimiento de un punto de Newton.

Si es necesario conocer el "estado de crecimiento" (valor del la variable y su derivada primera), entonces son necesarias dos condiciones iniciales por lo cual $V(t)$ pude concebirse como la solución de una ecuación diferencial de segundo orden, que sería de la forma:

$$\frac{d^2V(t)}{dt^2} = f\left(\frac{dV(t)}{dt}, V(t), t\right) \quad (4)$$

En este caso se adoptarán las hipótesis de variación de volumen, que se enuncia: la variación de la velocidad de crecimiento (aceleración de crecimiento) es opuesta a la velocidad de crecimiento y proporcional al incremento de volumen respecto de un valor $V_m$, y que puede expresarse de la siguiente manera.

$$\frac{d^2V(t)}{dt^2} = b \times \frac{dV(t)}{dt} a \times [V_m - V(t)] \quad (5)\ a, b, Vm, ctes. \therefore$$

$$\frac{d^2V(t)}{dt^2} = b \times \frac{dV(t)}{dt} a\ V(t) = aV_m \quad (6)$$

que tiene como solución general

$$V(t) = K_1 \times e^{x_1 \times (t-t_0)} + K_2 \times e^{x_2 \times (t-t_0)} + V_m \quad (7)$$

Donde $x_1$ y $x_2$ y, son raíces de la ecuación característica de (6) ($x^2 + b \times x + a = 0$), y $K_1$ y $K_2$, constantes de integración.

Para que la ecuación (6) sea representativa del crecimiento del monte, la ecuación característica debe tener ambas raíces negativas, para que $V_m$ sea asíntota, Fig. 2.

Antes de continuar, la ecuación (5) merece un comentario, es formalmente la ecuación de Newton del movi

miento del punto $\alpha = \frac{d^2x(t)}{dt^2}$ (si se cambia $x(t)$ por $V(t)$):

$F = m \times \alpha$, o $\alpha = F/m$, donde la aceleración es la derivada segunda de la función movimiento del punto, en este caso $F/m$ sería la suma de dos fuerzas, un viscosa, proporcional y opuesta a la velocidad (derivada primera) y proporcional a una fuerza elástica, es claro que una fuerza de esa forma es un resorte que atrae hacia $V_m$, cuanto más lejos de $V_m$ (más estirado el resorte), más atrae al punto.

Analizando la ecuación (5), que es la representativa del fenómeno, se observa que intervienen tres parámetros $a$, $b$ y $V_m$, y, vinculados a la viscosidad, elasticidad del medio y a la masa del sistema, pero si analizamos la ecuación (7), aparecen otros dos parámetros, $K_1$ y $K_2$, que intervienen en la solución, que no dependen de las características del sistema: dependen del estado de movimiento (o de crecimiento) o lo que es lo mismo, de las condiciones iniciales. Esta discriminación de la naturaleza de los parámetros es la que justifica este desarrollo teórico, porque bien se podría haber supuesto que la curva de crecimiento era la (7), pero no se diferenciaría entre parámetros del sistema y de condiciones iniciales, como se verá más adelante estas consideraciones serán las que permiten determinar el crecimiento del monte después de raleado.

## ARBOL TEORICO

En la Fig. 3, se puede ver la gráfica de mediciones de diámetro de un árbol real y su promedio, de la observación del perfil es razonable proponer como aproximación un árbol teórico con un tramo de diámetro constante (DAP) y un tramo curvo que va de DAP a cero

Tramo recto $DIAM = DAP \qquad O \leq x \leq H_r$

tramo curvo $DIAM = DAP \times \left(\frac{(H - x)}{H - H_r}\right)^{\alpha} \quad Hr < x \pounds H$

fijado $\alpha$ , $H_r$ queda determinado por

$$VOL_{ARBOL} = K \times DAP^2 \times \frac{\pi}{4} \times H =$$

$$= DAP^2 \times \frac{\pi}{4} \times H_r + \pi \times \int_{H_r}^{H} \left(DAP \times \frac{H - x}{H - H_r}\right)^{2x\alpha} dx \quad (8)$$

$$H_T = \frac{K \times (2x\alpha + 1) - 1}{2x\alpha} = xH \quad (9)$$

el K se calcula a partir de mediciones en árboles del monte en cuestión y para determinar el árbol teórico, se hace un ajuste, variando α, de modo que la diferencia de volumen, entre el árbol real y teórico fuera mínima, Fig. 4.

## DIAMETROS

Los diámetros se calculan conociendo alturas, volúmenes y densidad de plantación:

$$D_m(t) = \sqrt{\frac{1}{n} \times \frac{4}{\pi} \times \frac{V(t)}{H(t)}} \quad (10)$$

donde $D_m(t)$es el diámetro medio y $n$ la densidad de plantación, árboles por hectárea. Observando (10) se puede ver que si diámetro y alturas tienden a cero, también lo hace el volumen, y para que esto suceda el volumen debe ser un infinitésimo de orden superior a la altura, o sea que

**Fig. 3 - MEDICIONES**

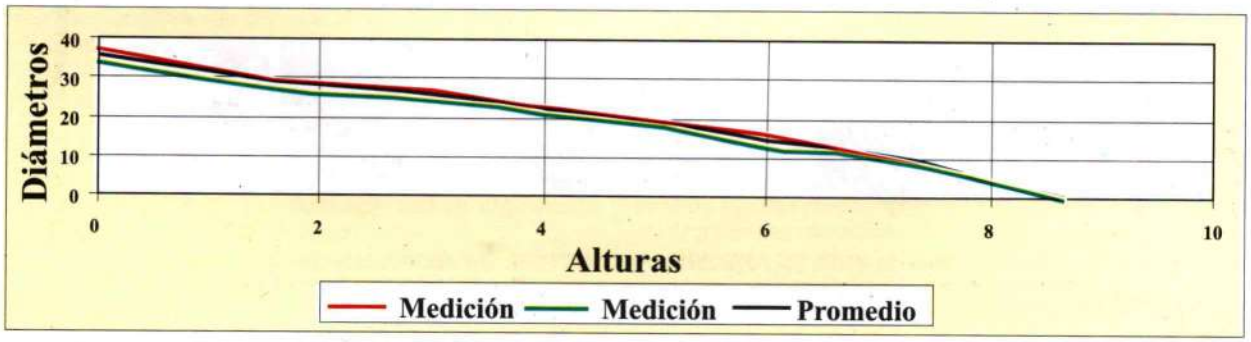
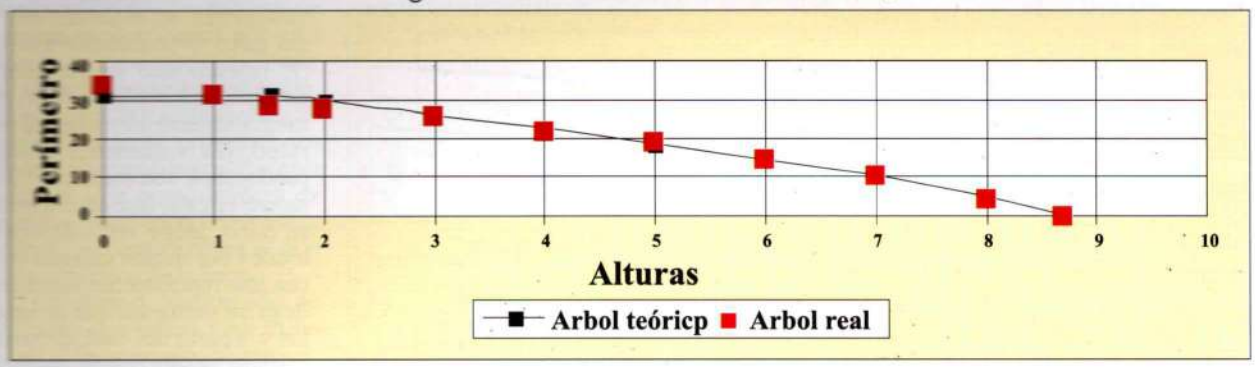


Fig. 4 - ARBOL TEORICO - ARBOL REAL




cuando se aproxima a cero no solo $V(t)$ tiene que tender a cero, sino también su derivada primera $\frac{dV(t)}{dt}$ debe tender a cero. Este razonamiento, de alguna manera explicaría la necesidad de conocer el "estado de crecimiento" del monte para predecir su evolución.

Al diámetro medio se lo vincula con el DAP, mediante

$$V = D\,x_m^2\,\frac{\pi}{4}\,x\,H = K\,x\,DAP^2\,x\,\frac{\pi}{4}\,x\,H$$

o sea $DAP = \frac{D_m}{\sqrt{K}}$ donde $K$ es el coeficiente de forma.

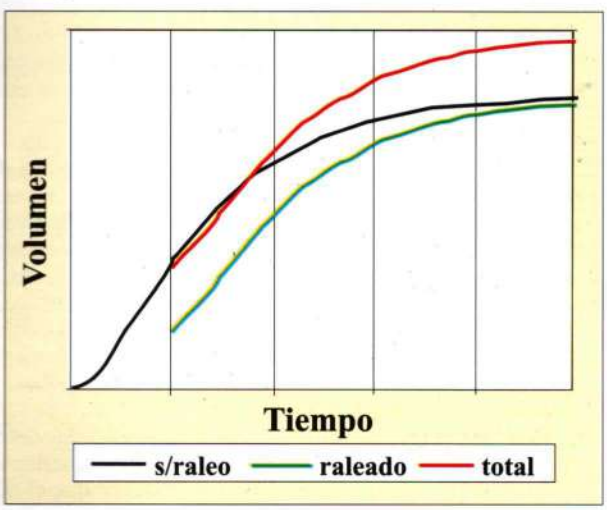
## RALEO

Todo el análisis efectuado anteriormente es para un monte implantado desde su inicio, pero si es sometido a raleos, sus variaciones de crecimiento ya no serán las mismas. Con las alturas, como ya se expresó, no hay problemas, porque el árbol crece independiente de la densidad, pero con los volúmenes, sí hay problemas.

Para el monte raleado se admite que siguen valiendo las hipótesis adoptadas, por lo tanto sigue teniendo validez la ecuación (6) y su solución general (7), lo que sí varían son las condiciones iniciales.

Visto que de aquí en adelante se empezarán a considerar variaciones iniciales y variaciones después de raleos, es necesario establecer una nomenclatura que permita facilitar el desarrollo que se efectuará. Adoptaremos como convención, que el subíndice 0 referirá a los crecimientos del monte inicial, el subíndice 1 a los valores de las variables después del primer raleo, y así sucesivamente, $V_0(t)$ $D_2(t)$ será el volumen del monte inicial en función del tiempo, será el diámetro después del segundo raleo, $n_i$ la densidad en el i-ésimo raleo, etc.

Fig. 5 - VOLUMEN EN MONTES RALEADOS



El tiempo está loco.
Por eso lo más conveniente es tener en su casa un climatizador frío-calor. Disfrute del clima ideal todo el año con la energía más limpia, cómoda y segura, y páguelo con SuperPlan hasta en 36 cuotas, en pesos y con la tasa de interés más baja.
Ventajas
• Confort todo el año
• Rendimiento mayor a 100% por ciclo de refrigeración
• Fácil instalación
• Consumo económico
• Extensa vida útil
• Bajo costo de mantenimiento
• No genera gases ni consume oxígeno
• Silenciosos y limpios
• Diseños de agradable estética
Disfrute la comodidad que sólo le da la energía eléctrica.
UTE
El confort es eléctrico
www.ute.com.uy

**Fig. 6 - RALEOS A DISTINTA DENSIDAD**

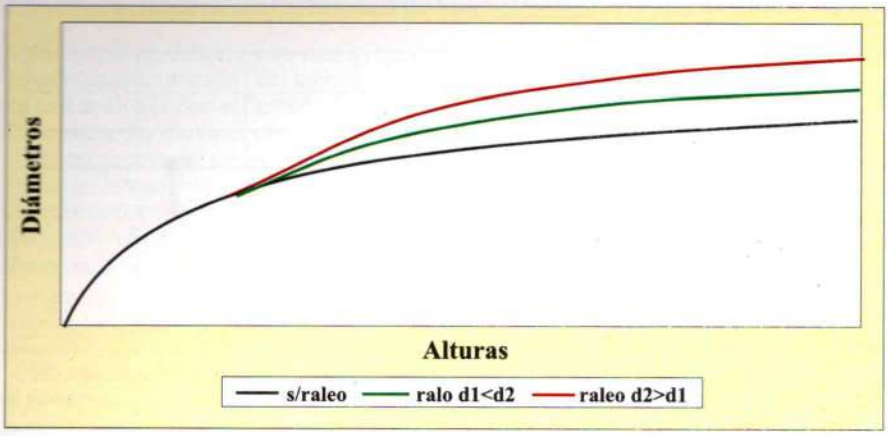
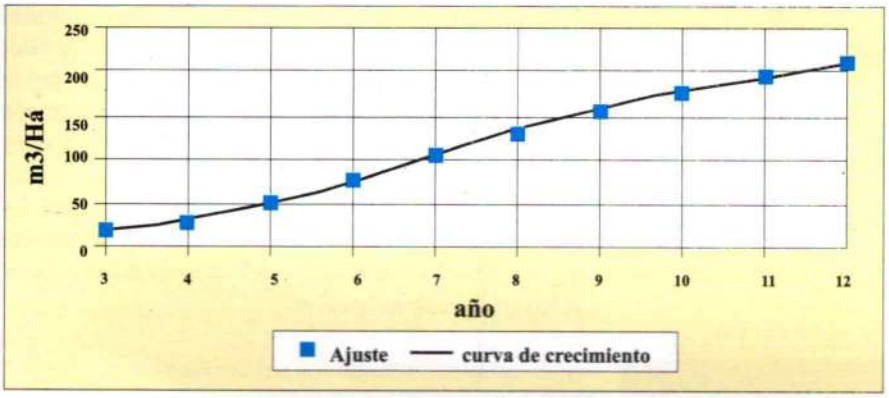



**Fig. 7 - AJUSTE DE CURVA DE CRECIMIENTO**




En la Fig. 5 se muestra la evolución en el tiempo de los volúmenes, en el monte con y sin raleo y volúmenes totales (lo raleado más lo que queda en el monte) obsérvese que, inmediatamente después de un raleo, los volúmenes totales producidos, son menores en el monte raleado que en el que no se raleó, luego los volúmenes totales del monte raleado crecen más rápidamente, hasta que llega un momento que se igualan y, a partir del cual, el monte raleado produce más madera. Esto sucede siempre que se ralea, no es una consecuencia del planteo efectuado, el modelo reproduce adecuadamente este comportamiento.

En la Fig. 6 se muestra los resultados del modelo para la variación de los diámetros en raleos a igual densidad, en distintos instantes, puede observarse que se alcanzan diámetros mayores raleando antes y, en este caso, al cabo del tiempo los montes terminan con el mismo diámetro.

La Fig. 7 muestra los resultados para raleos efectuados en el mismo instante, con diferentes densidades. En este caso, el monte de menor densidad tendrá siempre mayores diámetros.

Para el inicio de la plantación, la variación de volumen, con una densidad de plantación inicial $n_0$, con $t_0=0$, será:

$$V_0(t) = V_m \times (K_1 \times e^{x_1 \times t} + K_2 \times e^{x_2 \times t} + 1) \qquad t \le 0 \quad (11)$$

Haciendo un raleo en el instante, llevando el monte a una densidad $n_1$, se tiene que el volumen de madera que queda en el monte es, $V_0(t_1) \times \frac{n_1}{n_0}$, pero no solamente cambiará el volumen, sino la variación de su crecimiento, que quedará $\frac{d\,V_0(t_1)}{dt} \times \frac{n_1}{n_0}$.

Como se ha expresado sigue valiendo la ecuación (6) y su solución (7), o sea que será

$$V_1(t) = V_m \times (K_{1,1} \times e^{x_1 \times (t-t_1)} + K_{1,2} \times e + 1^{x_2 \times (t-t_1)}) \quad t \le t_1 \, (12)$$

Con las condiciones iniciales

$$V_1(t_1) = V_0(t_1) \times \frac{n_1}{n_0} \text{ y } \frac{dV_1(t_1)}{dt} = \frac{dV_0(t_1)}{dt} \times \frac{n_1}{n_0}$$

En general para un raleo $i = 1, 2, \ldots, n, \ldots$ se tendrá

$$V_i(t) = V_m \times (K_{i,1} \times e^{x_1 \times (t-t_i)} + K_{i,2} \times e + 1^{x_2 \times (t-t_i)}) \quad t \le t_i \, (13)$$

Con las condiciones iniciales,

$$V_i(t_i) = V_{i-1}(t_i) \times \frac{n_i}{n_{i-1}} \text{ y } \frac{dV_i(t_i)}{dt} = \frac{dV_{i-1}(t_i)}{dt} \times \frac{n_i}{n_{i-1}}$$

se determinan $K_{i,1}$ $K_{i,2}$ y, por lo tanto, $V_i(t)$.

## OPTIMIZACION

Para la optimización se utilizará un software de la Palisade Corp. (Evolver), que trabaja sobre una planilla Excel y efectúa la optimización utilizando algoritmos genéticos

El hecho de trabajar sobre una planilla Excel, posibilita una sencilla estructuración del flujo de caja y permite calcular fácilmente la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Los costos que se consideran son:

- Valor de la tierra, constante
- Valor plantación, lineal con la densidad. Costo plantación $V_i(t)$ $U\$S = 0.213 \times n_0 + 184$, $n_0$, densidad inicial de plantación.
- Poda, se fijan cuatro niveles de poda, 2.50, 5.00, 7.50 y 10.00 metros, así como el momento que se efectúa cada una de ellas, el costo se considera constante para cada altura de poda.
- Mantenimiento, constante, menos el primer año.

Como ganancia se considerará la ganancia líquida del monte, se supone la venta del monte en pie a un contratista, que lo cosecha, ralea, carga y transporta. Para ello, conociendo el año que se efectúa el corte (raleo o turno final), se conoce el volumen del monte, sabiendo la densidad se calcula el volumen del árbol, de ahí se deduce el DAP, como se indicó más arriba, conocido el DAP, se puede saber cuál es el diámetro para cada altura. Como se ha dicho, el árbol se cortará en trozas de 2.50 metros, se calculan los diámetros para 2.50, 5.00, 7.50, etc., de cada troza se considera el diámetro mínimo, que es el que determina el precio; si es menor que el mínimo diámetro de madera pulpable, su valor es cero, si es mayor que el diá-

metro mínimo de madera pulpable (se tomó 0.06 metros)y menor que el diámetro mínimo de madera de aserrío (se tomó 0.15 metros), su valor está dado por el valor de la madera pulpable. Si es mayor que el diámetro mínimo de aserrío, si no está podado, vale como pulpa y, si está podado vale como madera de aserrío. Valor del m3 de madera asrrada se consideró, es el diámetro mínimo de la troza.

En el caso considerado, se efectúan dos raleos y un turno final, y las variables a considerar son:

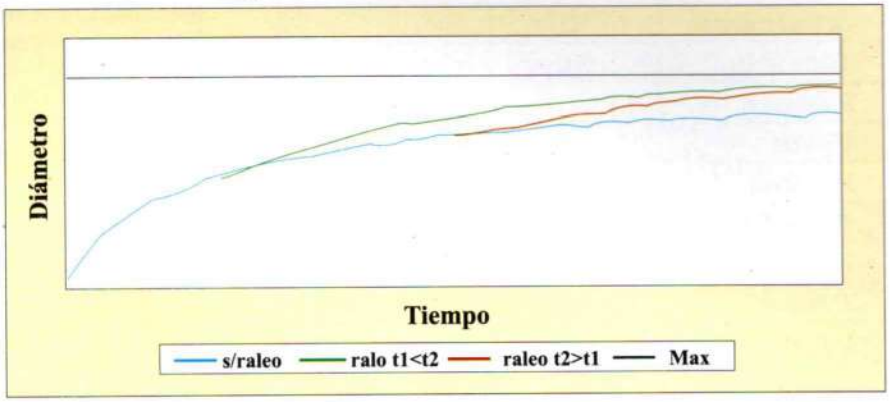
- Edad del monte en el momento del primer raleo.
- Edad del monte en el momento del segundo raleo.
- Edad del monte en el turno final.
- Densidad inicial.
- Densidad en el primer raleo.
- Densidad en el segundo raleo = densidad turno final.

En total son seis variables. Se establecieron restricciones, se acotó las densidad inicial entre dos valores, se estableció un mínimo de densidad de turno final, cuándo se inician los raleos y el máximo tiempo de turno final. También son necesarias restricciones obvias, el momento del segundo raleo tiene que ser posterior al primero, la densidad del monte después del raleo tiene que ser menor, etc.

La curva de crecimiento es la de la Fig. 8, que fue ajustada a la solución de la ecuación (6).

En las figuras 9, 10 y 11 se puede observar como se introducen y presentan los resultados en planilla Excel.

**Fig. 8 - VARIACION DE DIAMETROS**




## CONCLUSIONES

Para los costos y ganancias y curvas de crecimiento utilizados, y en el entorno de esos valores, las conclusiones son:

- Hay que plantar el menor número de árboles posible.
- El turno final debe tener el menor número de árboles posible.
- No es conveniente ralear dos veces sino una, y cuando se haga, hacerlo cuanto antes, llevando a densidad de turno final.
- La poda a 7.50 puede o no ser conveniente y no sería econ ómica la poda a 10.00 metros.
- En algunos casos el máximo de la TIR puede estar sobre una superficie muy "achatada", con lo cual pueden presentarse dominios de las variables en los cuales las variaciones de la TIR sea muy pequeña y que, dentro de ese dominio haya alternativas de raleo.

## COMENTARIOS

No se debe perder de vista que la metodología propuesta tiene simplificaciones importantes de la realidad aunque, de todas maneras, se consiguieron buenos ajustes, lo cual le da validación al modelo. En particular, el ajuste de volúmenes tiene cinco parámetros lo cual le da una flexibilidad muy adecuada para aproximarse a la curva

**Fig. 9 - VARIABLES**

| t1 | t2 | tf | n0 | n1 | n2 |
|---|---|---|---|---|---|
| 3.001 | 3.002 | 8.57 | 833 | 550 | 550 |
| Vm | alfa1 | alfa2 | K01 | K02 | Coef. volumen |
| 311 | -0.479 | -0.165 | 1.98 | -2.32 | |
| K | beta | Coef altura | | | |
| 35 | 0.07 | | | | |
| Vo(t1) | V1(t2) | V2(tf) | Vólumenes totales | | |
| 18 | 85 | 138 | antes de ralear | | |
| Vral1 | Vral2 | V2(tf) | Vtot | Vólumenes totales | |
| 6 | 0 | 138 | 144 | raleados | |
| V1(t1) | V2(t2) | Vólumenes en monte | | | |
| 12 | 85 | después de ralear | | | |
| Vd(t1) | Vd(t2) | Vd(tf) | Vdtot | $=0 | |
| 2 | 0 | 4 | 6 | | |
| Vp(t1) | Vp(t2) | Vp(tf) | Vptot | pulpa | |
| 4 | 0 | 51 | 55 | | |
| Va(t1) | Va(t2) | Va(tf) | Vatot | aserrío | |
| 0 | 0 | 83 | 83 | | |
| | DAP~ | DAP~ | DAP~ | | |
| | 0.09 | 0.18 | 0.21 | | |

| Fig. 10 | | | |
|---|---|---|---|
| no final máximo | 22 | años | |
| Tierra $/Há | 500 | | |
| Plantación | | | |
| U$S/Há | 0.213xno+184 | | |
| Hectáreas. | 1 | año | H |
| 1ª Poda U$S/Há | 70 | 2 | 2.50 |
| 2ª Poda U$S/Há | 110 | 4 | 5 |
| 3ª Poda U$S/Há | 150 | 23 | 7.50 |
| 4ª Poda U$S/Há | 200 | 23 | 10 |
| año | 0 | 1 | >1 |
| Costo anual U$S/há | | 60 | 25 |
| Valor residual monte | | % | 50 |
| curva árbol | | alfa | 0.76 |
| coef. forma | | K | 0.48 |
| Costo $m^3$ aserrado | U$S | 80*D+8 | |
| Costo $m^3$ pulpa | U$S | 5 | |
| Mínimo diám. aserrado | | Da m. | 0.15 |
| Mínimo diám. pulpa | | Dp m. | 0.06 |

de crecimiento real, las características de esta función no pueden modificarse, porque discrimina claramente entre parámetros que dependen de las características propias del sistema y de las condiciones iniciales. En cuanto a la curva de alturas, tiene dos parámetros, lo cual puede darle cierta rigidez para ajustar, en este caso no habría problemas para sustituir la función por otra más adecuada con más parámetros y mejor ajuste, como se aclaró anteriormente, se utilizó esta fórmula para ubicar todo el trabajo en un contexto teórico.

También se destaca que el modelo supone el aprovechamiento total de los recursos (agua, luz, nutrientes, etc.), lo cual no sucede con densidades bajas o cuando los árboles son muy pequeños, por eso es que si bien puede ser aplicable al eucalipto, puede no serlo para especies de crecimiento más lento.

De los resultados se concluiría que lo ideal sería plantar de salida la densidad de turno final y únicamente hacer podas, eventualmente hasta 7.50 metros.

Está claro que la conclusión anterior es la lógica de un modelo, pero prácticamente no es racional porque suceden varias cosas: Lo primero es que establecer la densidad de turno final no es fácil, las prácticas y recomendaciones en cuanto al número final de árboles son muy diversas y es el aspecto de mayor incidencia en la rentabilidad.

Lo otro que sucede es que hay árboles que se mueren, se quiebran, no son aptos para madera de aserrado, etc., o sea que el sentido común y la experiencia indican que hay que plantar mayor densidad que la de turno final prevista, ¿pero cuánto más? ¿hasta dónde una baja densidad de plantación no fomenta el desarrollo en horizontal del árbol, ni perjudica la verticalidad del fuste? ¿sería razonable, por ejemplo, plantar seis cientos árboles, para un turno final de cuatrocientos cincuenta? Esta pregunta no la responde este trabajo y es de una importancia fundamental en la rentabilidad.

También merecen un comentario dos simplificaciones efectuadas, que favorecerían la opción de raleo:

- Se ha supuesto el mismo valor líquido de venta para madera raleada y de turno final, lo cual no es cierto.
- Se ha supuesto que el porcentaje de volumen raleado es proporcional al porcentaje de árboles raleados, lo cual implica admitir que todos los árboles son iguales. En realidad el porcentaje de volumen raleado es menor (a veces mucho menor) que el porcentaje de árboles raleados.

Ing. Civ. Douglas Simonet Fletcher. Desarrollo del trabajo. dsf@adinet.com.uy. Rincón 36, Salto 50000 Uruguay. Empresa Douglas Simonet Fletcher.
Ing.Agr. Eduardo Juan. Asesor en forestación. ejuan@adinet.com.uy. Juan B. Blanco 1053/602, Montevideo, Uruguay.

## REFERENCIAS

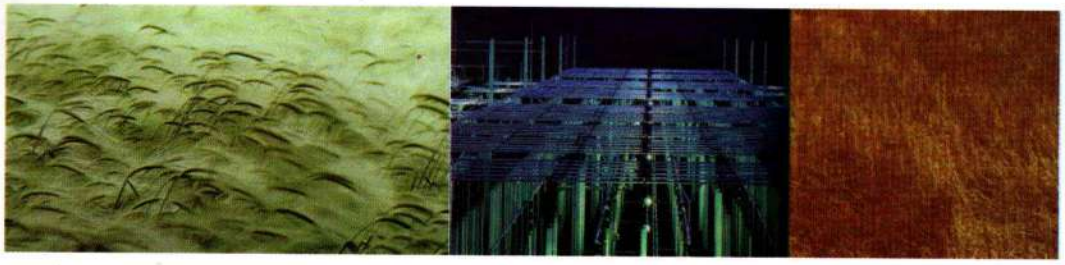
D. Simonet, 1999, "3Sim, Modelo de Predicción de Crecimiento de Poblaciones", II Congreso Nacional y II Congreso Regional del Cono Sur, Montevideo, noviembre de 1999). Organizado por la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria.
D. Simonet et al, 2001, "Modelo de crecimiento de poblaciones en ambientes acotados", *III* Taller Internacional sobre Enfoques Regionales para el Desarrollo y Gestión de Embalses en la Cuenca del Río de la Plata". Organizado por el Instituto Argentino de Recursos Hídricos, Instituto Nacional del Agua y el Ambiente (Argentina). Posadas, Misiones Argentina, marzo del 2001.

| Altura de corte m | Diámetro m | Volumen Total m3 | Volumen aserrío m3 | Volumen pulpa m3 | U$S aserrío | U$S pulpa |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.207 | | | | | |
| 2.5 | 0.203 | 0.082 | 0.082 | 0.000 | 1.99 | 0.00 |
| 5 | 0.173 | 0.069 | 0.069 | 0.000 | 1.51 | 0.00 |
| 7.5 | 0.141 | 0.048 | 0.000 | 0.048 | 0.00 | 0.24 |
| 10 | 0.106 | 0.030 | 0.000 | 0.030 | 0.00 | 0.15 |
| 12.5 | 0.068 | 0.015 | 0.000 | 0.015 | 0.00 | 0.07 |
| 15 | 0.020 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.00 | 0.00 |
| 17.5 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.00 | 0.00 |
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.00 | 0.00 |
| 22.5 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.00 | 0.00 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.00 | 0.00 |
| | | | | | **Total** | **3.96** |
| **Turno final** | | **$n^2$ árboles** | | **550** | **Total** | **2178.75132** |

Los siguientes artículos fueron tomados de la publicación *HACIA EL MAÑANA*, de fecha octubre 2001 editada por los Departamentos de Información y Comercial de la Embajada Británica

# Electricidad de Biomasa: la revolución silenciosa

*por Stanniforth Webb, Corresponsal especial de LPS*



En la fértil llanura que forma el este de Inglaterra se está iniciando una revolución energética: la sustitución de los combustibles fósiles por otros renovables, como residuos agrícolas y plantas cultivadas especialmente para proporcionar energía.

El pasado otoño ya empezó a funcionar en la Sutton, cerca de Ely, East Anglia, la mayor central eléctrica del mundo a partir de la paja y ahora se ha puesto en marcha cerca de Eye, Suffolk, la primera central eléctrica a base de purinas (excrementos de pollo) y otros restos de la agricultura, además de la mayor central eléctrica del mundo que quema biomasa en Thetford, en la misma región.

Durante su visita del pasado mes de enero a la central de Sutton, el entonces Ministro de Agricultura, Nick Brown, dijo: "Es un proyecto impresionante. El Gobierno se ha comprometido a promocionar las energías alternativas limpias y sostenibles. La ayuda al sector de las bioenergías es una parte muy importante del England Rural Development Programme, al que vamos a dedicar 30 millones de libras en los próximos siete años".

Estas centrales eléctricas son pasos importantes y vitales hacia un futuro en el que, según la mayoría de los expertos, el mundo deberá depender mucho menos de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) para la producción de electricidad, y mucho más de los renovables (sol, aire y biomasa). Un experto calcula que en 2050 ya se consumirán más combustibles renovables que fósiles.

Pero para que llegue esta situación, las nuevas centrales eléctricas deberán resolver primero los problemas técnicos y ecológicos que plantea la biomasa, por ejemplo la paja de los cereales y la biomasa, mezcla de virutas y paja, restos de piensos y excrementos de animales procedentes de las granjas avícolas o porcinas.

Ya se han dado pasos en ese sentido. Por ejemplo, la paja contiene mucha sílice. En los primeros hornos que quemaban paja hubo problemas de eliminación de la sílice, que quedaba como residuo, pero en la planta de Elean en Sutton se utiliza un proceso que hace que la sílice se acumule en las paredes de los tubos por los que pasa el vapor supercalentado de la turbina. De este modo se forma una capa protectora de vidrio.

Por otro lado, los propietarios de las nuevas plantas han tenido que convencer a los habitantes de los alrededores de que no producen malos olores, humos, ruidos, contaminación, degradación del paisaje y tráfico de camiones que pudieran afectar negativamente al valor de sus viviendas y propiedades. También aquí se han encontrado soluciones: el problema de los olores de los excrementos de pollo en las plantas de Thetford y Eye se resuelve manteniendo los almacenes a una presión algo más baja que el exterior, de modo que no salga aire ni olor. El

ANCAP

impacto visual de la central de Elean se ha reducido también creando un hueco de 8mts. de profundidad y 300.000 mts. cúbicos en el que se ha construido el edificio, para evitar además los ruidos.

Pero aunque las nuevas centrales de combustibles alternativos ya están resolviendo algunos de estos problemas, todavía deben demostrar que la electricidad que producen es, o puede ser, por lo menos tan barata como la de las centrales que queman combustibles fósiles. A esto no se ha llegado todavía y, como sucede en otros países, estas centrales dependen en el Reino Unido de las subvenciones del Gobierno.

El vicepresidente de Fibrowatt, la empresa constructora de las dos primeras centrales de purinas del Reino Unido, las de Eye y Thetford, señala que, de acuerdo con muchos expertos, este dinero no debe considerarse como una subvención a fondo perdido, sino una "inversión en futuro" y añade: "Sólo va a ser posible sustituir los combustibles fósiles por otros renovables si el coste de la electricidad producida es competitiva, sobre todo en los países en desarrollo. Y la experiencia nos dice que la única manera de resolver los problemas de cualquier nueva tecnología es construir muchas centrales para conseguir economías de escala".

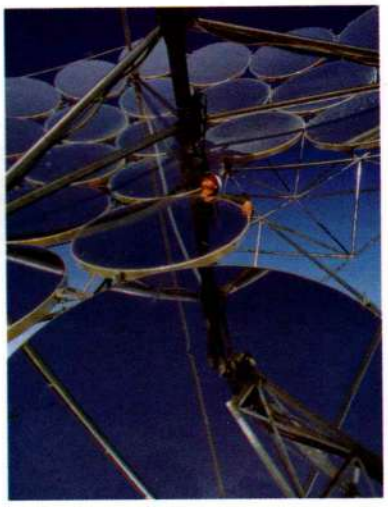
Ya se han dado algunos pasos. Fibrowatt tiene nuevas centrales en proyecto en Estados Unidos y Holanda y va a preparar otros en España, Estados Unidos, Italia, Francia, Bélgica y Japón. Otra empresa británica, Energy Power Resources, responsable de la central de Elean, prevé construir otras en Corby y otros puntos. Estas centrales están proyectadas para quemar biomasa en un sentido amplio, es decir, no sólo purinas, paja y otros residuos agrícolas, sino algunas especies arbóreas de crecimiento rápido cultivadas ex-profeso para este fin, como el Miscanthus.

Con todos estos proyectos las empresas británicas van a ir adquiriendo experiencia industrial y creando la infraestructura necesaria para que los combustibles alternativos vayan ocupando el lugar que los economistas y los ecologistas pretenden que ocupen en un futuro no muy lejano. (ENE)

Para más información dirigirse a: Rupert Fraser, Deputy Chairman, Fibrowatt Ltd, Astley House, 33 Notting Hill Gate, London, United Kingdom W 11 3JQ. Tel.: +44 2072 29 92 52. Fax: +44 2072 21 86 71. Internet: www.fibrowatt.con

John Hewson, Project Director, Elean Power Station, Sutton, Cambridgeshire, United Kingdom, CB6 2QE. Tel.: +44 1353 77 75 79. Fax: +44 1353 77 83 71.

# Aumenta la producción de paneles solares



Un grupo industrial británico que ya cuenta casi con el 20 por 100 del mercado mundial de equipos para energía solar, está preparando un aumento del 500 por 100 de su producción de paneles solares.

El grupo petrolífero y energético BP, que recientemente anunció sus planes para construir una planta de montaje de paneles solares en Baja Sajonia, Alemania, anuncia ahora nuevas iniciativas como la adquisición de la fábrica de semiconductores de Agere Systems en Madrid, España. Se espera que esta operación quede cerrada en los próximos meses.

La ampliación en España va a servir como complemento de la fábrica que ya tiene BP en Madrid, donde cuenta además con oficina de marketing. En este proyecto BP va a invertir más de 100 millones de dólares (más de 120 millones de EUR). La nueva fábrica está también al norte de Madrid, a unos 16 kms. de la de BP Solar. Cuando está a pleno rendimiento se habrán creado en ella más de 600 puestos de trabajo.

Un portavoz del grupo BP ha dicho en Londres: "La nueva fábrica de paneles solares será una de las mayores del mundo. Producirá 60 MW al año de paneles solares Satum de silicio cristalino de alta eficiencia y tendrá capacidad de ampliación. Este producto se va a vender en todo el mundo, pero sobre todo va a satisfacer la demanda creciente de paneles solares en Europa. La planta empezará a producir a finales de 2002 y en ella se van a emplear las técnicas más avanzadas para mejorar su productividad y rendimiento, la eficiencia y las prestaciones de las células solares que se fabriquen".

Por su parte, el director ejecutivo de BP Solar ha dicho: "España, como el resto de Europa, es un mercado de energía solar cada vez más importante. Este proyecto de Madrid nos va a permitir seguir desempeñando un papel de líderes en la atención a esa creciente demanda".

El presidente de BP España, Luis Javier Navarro, ha declarado: "La energía solar está contribuyendo cada vez más a satisfacer la demanda de energía de los españoles, protegiendo al mismo tiempo el medio ambiente. BP está encantada de formar parte de esta contribución positiva a mejorar la calidad de vida de nuestros conciudadanos".

BP, una de los mayores fabricantes de paneles solares del mundo, produjo el año pasado paneles fotovoltaicos de más de 40 MW y tuvo unas ventas de 200 millones de dólares USA (unos 240 millones de EUR). Recientemente ha inaugurado otra fábrica de celdas y módulos solares en Sidney, Australia, y tiene fábricas de silicio cristalino en Estados Unidos e India y dos de película fina en Virginia y California (Estados Unidos).

BP Solar va a comenzar a trabajar el próximo mes de setiembre en el mayor proyecto fotovoltaico del mundo, para llevar electricidad a más de 400.000 personas que viven en 150 pueblos Filipinos dispersos por una amplia zona rural. El contrato de 48 millones de dólares USA (58 millones de EUR) firmado por los Gobiernos español y filipino contempla la instalación de miles de celdas solares para producir energía eléctrica no sólo para iluminación, sino para el accionamiento de electrobombas de riego, de plantas depuradoras de agua y de frigoríficos eléctricos.

Para mis información dirigirse a: BP Solar, Britannic House, 1 Finsbury Circus, London, United Kingdom, EC2M 7BA. Tel.: +44 2074 96 47 08. Fax: +44 2074 96 45 28.

Internet: www.bp.com

# Historia de la Catedral de Montevideo y de su restauración

Hemos recibido del Ing. Civil Alberto Bolatto Ricci, la nota que transcribimos a continuación:

*Montevideo, 1º de octubre de 2001*

*Sr. Presidente de la Asociación de Ingenieros del Uruguay, Ing. Esteban Garino*

*De mi mayor consideración:*

*Adjunto a la presente un artículo sobre la reconstrucción de la Catedral de Montevideo por el mérito que de ello le cabe a mi compañero y colega Ing. Civil Aníbal Braulio Broggi, quien solucionara brillantemente un problema técnico-constructivo que se consideraba técnicas de la época.*

*Como verá , mi actuación es la de simple redactor o transcriptor, sin mérito alguno, por lo cuál sólo marco mis iniciales a los efectos de marcar mis responsabilidades, pero indicando siempre las fuentes originales.*

*Además acompaño con una fotocopia ampliada obsequio, del libro original del que extraje texto y fotos, que considero importante para la biblioteca de la A.I.U. y además agrego tres páginas que son la transcripción casi exacta del libro de Fernando Assunçao e Iris Bombet (Cuadernos del Boston- Serie Montevideo - Nº 1) del que he extraído los datos históricos referentes a la Catedral y que agrego a los efectos de las debidas confirmaciones.*

*Mis deseos serían, Sr. Garino, su publicación en la Revista de Ingeniería (pero eso lo decidirá usted) pues yo lo considero del mayor interés técnico-histórico y de gran mérito para mi amigo y colega a quien siempre le debía esta reivindicación del olvido.*

*Sin otro particular, saluda al estimado amigo y colega con mi mayor afecto.*

*Ing. Civil Alberto Bolatto Ricci*

La "transcripción" correspondiente se inicia con la historia de la Catedral.

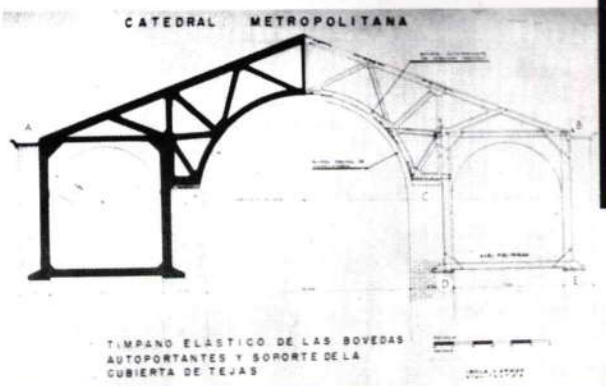



fig. 3 bis. Esquema de la consolidación del templo.
A - B: cerchas, como lo que aparece en el plano, que se inserta, están colocadas en la nave principal.
4. en el presbiterio.
2. más cortas en donde terminan las tribunas del presbiterio.
4. como las anteriores sobre el crrcero lado Norte y Sur.
A la altura de la cumbre, sobre los arcos de las tribunas, que miran sobre la nave todo a lo largo, se han unido todas estas cerchas indicadas en el plano con una viga triangulada, que corre a lo largo de todas las cerchas y las une en forma indeformable, llegando desde la fachada hasto la cúpula y lo mismo en la parte del presbiterio. Véase Fig. 5.
Esta unión hace que toda la estructura sea solidaria.
Estas cerchas tímpano de las bóvedas autoportantes están apoyadas sobre patines de repartición, (C) apoyados sobre los grandes pilares (D) penetrando hasta el arranque de las bóvedos y continuando hacia abajo hasta el piso de las tribunas.
Este marco rígido que abraza las tribunas (B-D-E) sirve trambién de soporte del piso. Sobre estas cerchas y uniéndolas se dispusieron tirantes separados entre sí 1,40 y sobre ellos los cabios separados entre sí 0.80, todos esto, de hormigón y los risfreles de madera sobre los que se apoyan las tejas sujetas con ganchos especiales, tal el conjunto de la cubierta que ofrece una seguridad total bajo las tres condiciones de elasticidad. Trasmisión de cargas a los pilares y comportamiento isostático, es decir, libre de todo empuje lateral. (Ver. Fig. 6).

## HISTORIA DE LA CATEDRAL DE MONTEVIDEO

Cuando no existía nuestra Catedral en el Montevideo colonial del siglo XVIII, era una intensa aspiración del cura párroco de la época, la construcción de la misma, por lo cual escribió repetidas veces a les autoridades eclesiásticas españolas, rogando a ellos por el envío de planos para la ejecución de las obras, cosa que realizaría con el apoyo de todos sus fieles.

No recibía respuesta alguna que lo alentara, cuando arribó un día un navío de la Madre Patria y desembarcó un tubo de latón con todos los planos para la ansiada Catedral. Cuando los abrió tuvo una amarga desazón al descubrir que los planos los habían bajado equivocados, pues era para una catedral a construir en la ciudad de Buenos Aires. El pobre cura tuvo una lucha espiritual tremenda, entre remitir los planos a sus verdaderos destinatarios o usarlos en la realización de su sueño. Finalmente decidió, con razón, que el error era una forma de milagro, que realizaba el Señor en respuesta a sus plegarias, para que Montevideo tuviera su ansiada Catedral, y que igual se serviría a Dios se alzara donde se alzara.

Comenzó entonces a construirla con la mayor urgencia, dándole preferencia a los trabajos de excavación y fundación de las torres para ganarle a una segura orden de España de entregar los planos a destino; fue así que, cuando llegó el envío del error y la orden de rectificarlo alegó con toda razón, tener muy adelantados los trabajos y haber gastado mucho dinero. Visto lo expuesto, se le concedió la prosecución de los trabajos y los planos de manera definitiva. Pero por esos apuros, no se llegó a fundar las torres en la roca, sino sobre tosca cuando aún faltaban retirar sólo 50 centímetros de ella para llegar a la roca.

En la década de los años 1940 la Curia, dado que la Catedral presentaba diversos deterioros, encargó a la firma "Pietropinto y Ruano Arquitectos" la reconstrucción interior y exterior de ella. Excelentes técnicos, realizaron un muy buen trabajo arquitectónico, pero en cuanto a los problemas estructurales, especialmente la bóveda cañón,

que presentaba un par de rajaduras continuas a lo largo de los riñones (1/4 de la luz) por donde filtraban abundantes humedades, decidieron consultar a los más destacados ingenieros uruguayos como lo fueron los profesores catedráticos de la Facultad de Ingeniería y Agrimensura en Resistencia de Materiales, Ingenieros. Félix de Medina Artau y Romeo Ottieri (calculistas del dique flotante de hormigón armado) y el Doctor Ingeniero Adolfo Hartshuh técnico alemán de vastísima actuación en plaza (Palacio Salvo, I.M.M.) encargándoles un estudio completo de toda la estructura, cuyo resultado fue por unanimidad que toda ella amenazaba ruina y correspondía la urgente demolición de los techos.

Pero ello significaba cerrar la iglesia al culto un año o más y perder un elemento histórico que se consideraba fundamental. La Curia se negó, ya que si bien la primer cubierta fue un techo de cerchas de madera y tejas, a posteriori se había sustituido con enorme sacrificio por las bóvedas históricas.

Urgida por la situación, La Curia decidió en última instancia consultar con otra empresa de su confianza, "Isola y Armas Arquitectos" donde revistaba como Ing. Director de Obras Aníbal B. Broggi recién recibido en 1949 pero que por su cuenta se había especializado en bóvedas delgadas (tema que no se enseñaba en la F.I.A.) de las que ya había realizado varias de grandes luces en fábricas y depósitos.

Todo esto, fue indagado por el Ing. Aníbal Broggi en los archivos de la Catedral con la ayuda del presbiterio de la época, padre De Santiago que en la década de los 50 estaba a cargo de ella.

El Ing. Broggi, leyó el informe de los ingenieros De Medina y Hartschuh, estudió toda la Catedral haciendo pozos de inspección en todas las fundaciones, descubrió la necesidad de recimentar las torres de ella, en razón de no haberlas fundado en la roca sino 50 cms. Más arriba en la tosca (posiblemente por el apuro del cura párroco Monseñor Juan José Ortiz de tener una excusa valedera para que le dejaran los planos) por lo que las torres, habían adquirido una cierta inclinación hacia la plaza arrastrando el frente, que lucía una separación de 6 a 7 cms. De la bóveda cañón. Comprobó que todo el resto de las fundaciones estaban sobre la roca en especial los cuatro pilares fundamentales que soportaban el toro que aguantaba la cúpula, y entonces, analizó el problema buscando con audacia e ingenio la solución a las condicionantes de la estructura y del cliente y decidió con coraje, asumir el riesgo calculado de su genial solución que permitía la reparación de toda la estructura, que no se le ocurriera a ninguno de los especialistas consultados.

Primero recimentó cuidadosamente las torres por pozos alternados hasta la roca misma deteniendo así toda posibilidad de aumentar sus inclinaciones.

La continuación de las obras la haré transcribiendo el texto e ilustraciones del libro, poco conocido, de Monseñor Luis R. De Santiago intitulado "La Catedral de Montevideo" y subtitulado "Historia de su restauración, 1941-1961" empezando con el capítulo llamado "La Segunda Etapa" que corresponde exactamente a lo actuado por el Ing. Aníbal B. Broggi.

## LA SEGUNDA ETAPA

Entretanto, en el mes de mayo de 1952, se hizo cargo de las obras el Arquitecto D. Guillermo Armas, quien a su vez, con su equipo de técnicos, constató los informes producidos y resolvió encarar el gran problema que se presentaba.

He aquí el programa de acción que se proyectó y se llevó a cabo:

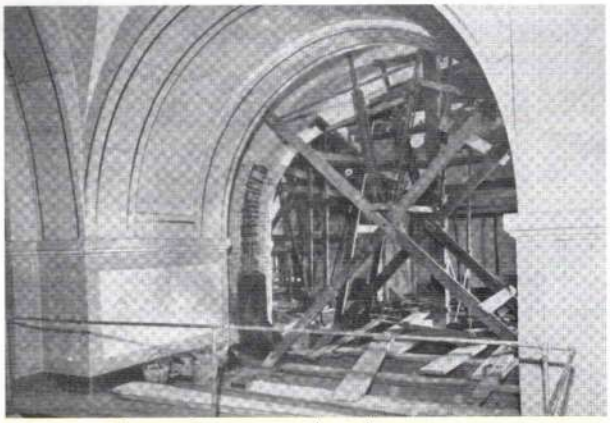


Fig. 1. El apuntalamiento en las tribunas

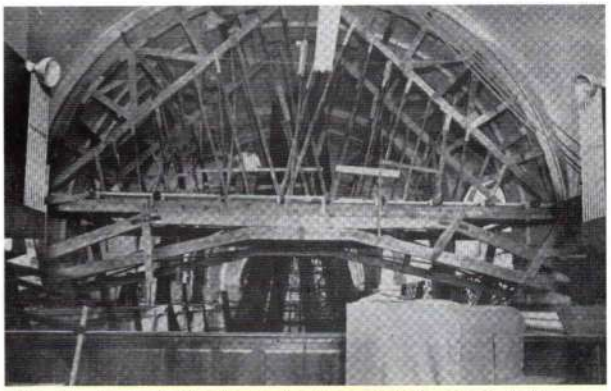


Fig. 2. Apuntalamiento de la nave central con los dobles palladios.

Previa discriminación de las "ETAPAS CONSTRUCTIVAS", que a continuación se enumeran, se hizo un "ANALISIS TECNICO", para poner en evidencia "LAS MULTIPLES LESIONES" que experimenta nuestro MAXIMO TEMPLO.

Afectado en su FAZ RESISTENTE, par la acción inclemente de los AGENTES ATMOSFERICOS, variaciones térmicas, lluvias y vientos combinados, así como también por acción de las PONDERABLES SOBRECARGAS, que actúan sobre los elementos de FABRICA, BOVEDAS, ARCOS y PECHINAS, fue mostrando a los Técnicos a través del "mudo y elocuente lenguaje de las grietas", desprendimientos espontáneos de materialismo y sus múltiples lesiones que su CUERPO ESTRUCTURAL, era impotente para seguir luchando contra enemigos para los cuales no estaba previsto.

Dado la peligrosidad de sus lesiones en los elementos más comprometidos, se adoptaron inmediatamente precauciones, a los efectos de evitar tan grandes riesgos en aquellos elementos que amenazaban su RESISTENCIA y ESTABILIDAD.

Un apuntalamiento técnicamente calculado fue inmediatamente ejecutado a los efectos de evitar la destrucción de nuestro Templo, y en fecha 22 de Mayo de 1952, se iniciaron las Obras Previas de RESTAURACION y se ejecutaron las ETAPAS, que a continuación se enumeran.

## ETAPAS DE APUNTALAMIENTO

1ª ETAPA - Apuntalamiento de la BOVEDA del PREBISTERIO en su totalidad, con demolición simultánea de los ARCOS DOBLEROS, posteriormente sustituidos, por ARCOS de HORMIGON ARMADO.

2ª ETAPA - Apuntalamiento de los ARCOS y BOVEDAS de las TRIBUNAS, en sus zonas de RESISTENCIA CRITICA, con colocación de "TESTIGOS" en la CLAVE y RIÑONES de las mismas.

3ª ETAPA - Apuntalamiento de los segundos ARCOS DOBLEROS de la NAVE PRINCIPAL, en inminente peligro de derrumbe, mediante vigas DOBLES PALLADIOS al nivel de las TRIBUNAS, solución que permite el libre acceso a la NAVE PRINCIPAL, y a su vez lo continuidad de las CEREMONIAS RELIGIOSAS.

4ª ETAPA - Apuntalamiento de los ARCOS TORALES, portantes de la CUPULA, deformados en el ARRANQUE, RIÑON y CLAVE, como consecuencia de la alteración de la "LINEA DE PRESIONES", bajo la acción del excedente de cargas y por GRAVES VICIOS CONSTRUCTIVOS. Las deformaciones constatadas en la directriz circular de los ARCOS, en los puntos NOTABLES mencionados, son del orden de 10 y 11 cms. Estas deformaciones se han acusado también, en los ARCOS DOBLEROS, en la BOVEDA de la NAVE PRINCIPAL, y en la BOVEDA del PRESBITERIO.

5ª ETAPA - Apuntalamiento del LINTERNON de la CUPULA, mediante una TORRE de: 31.50 metros de altura. Al acunarse el LINTERNON con la TORRE de apuntalamiento, pudo constatarse la gravedad y las precarias condiciones en que se encontraba este elemento, que con un peso PROPIO de 40.000 kilos, amenazaba el derrumbe de la CUPULA por estar los materiales de FABRICA, totalmente en ESTADO de DESCOMPOSICION y DESAGREGACION por ACCION PROGRESIVA de los AGENTES ATMOSFERICOS.

NOTA. Para dar una idea aproximada de la ENTIDAD del RUBRO APUNTALAMIENTOS, se han empleado 60.000 pies de madera, comprendiendo TIRANTERIA, TABLAS y TABLONES (excluyendo puntales), lo que significa un valor de $ 30.000.

Una perfecta explicación gráfica de esta formidable etapa de apuntalamiento nos las dan las fotografías que publicamos en estas páginas; la fig. 1 nos muestra el trabajo en las tribunas del templo; la 2 toda la nave central desde el coro hasta la cúpula sólidamente apuntalada con los dobles palladios; la figura 3 la enorme torre de 31.50 metros de altura que sostiene el linternón y las dos torres laterales, frente a los altares del Calvario y del Sagrado Corazón, apuntalan los arcos torales, portantes de la cúpula.

Terminado todo el apuntalamiento del templo se comenzó con la consolidación del mismo efectuándose los trabajos que a continuación se exponen.

## ETAPAS DE CONSOLIDACIÓN DE ESTRUCTURA DE FÁBRICA

### PRESBITERIO Y ÁBSIDE

6ª ETAPA. Eliminación de la Cubierta protectora de la BOVEDA, hasta dejar al descubierto el ESTRADOS de lo misma, (parte exterior), penetración en las JUNTAS LONGITUDINALES y TRANSVERSALES de los ladrillos hasta una profundidad de 7 cms., y REMOCION de las CUÑAS de MADERA BLANCA, sistema nunca visto en construcciones similares, por su inadecuada resistencia, revelando una falta de Técnica INADMISIBLE. La eliminación de la CUBIERTA redujo en 380 Ton. (380.000 kilos), la carga que gravitaba sobre la BOVEDA, carga que, conjuntamente con los otros factores yo enunciados, al modificar la "LINEA DE PRESIONES", originó la DEFORMACION de la BOVEDA, con el consiguiente INCREMENTO de los EMPUJES, TENSIONES de TRABAJO, etc.


teorema

**Por comprometernos con la sociedad...**

Premio
Nacional de Calidad
2000

**1996** Primera empresa de la Industria de la Construcción en obtener un certificado ISO 9000

**2000** Galardonada con el Premio Nacional de Calidad

**2001** Primera empresa de la Industria de la Construcción en obtener un certificado ISO 14000

Los hitos anteriormente mencionados demuestran la importancia que tienen para Teyma la Calidad, la Gestión y el Medio Ambiente. Esta política firme destinada a la permanente búsqueda de la mejora contínua, tiene por destino mantener el compromiso con la Sociedad, liderando un mercado día a día más exigente.

**Nuevamente gracias a quienes han confiado en nosotros todos estos años, y a quienes trabajan silenciosamente todos los días para hacer de Teyma lo que es hoy.**

TEYMA

Su Interlocutor en Recursos y Soluciones Técnicas.

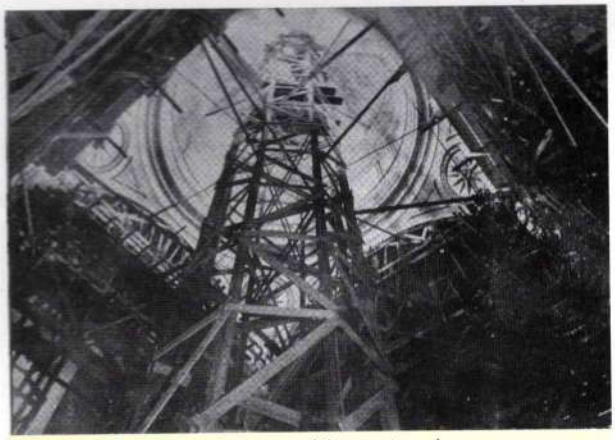


Fig. 3. La torre que sostiene el linternón y las que apuntalan los arcos torales.

7ª ETAPA - Sustitución de los ARCOS DOBLEROS del INTRADOS, (parte interior) simplemente APLACADOS sobre lo BOVEDA y como única sujeción clavos de gancho, totalmente oxidados, por ARCOS de HORMIGON ARMADO, trabados a su vez al TIMPANO ALIGERADO de la BOVEDA AUTOPORTANTE de CONSOLIDACION.

8ª ETAPA - Perforación de la BOVEDA de FABRICA, para alojar piezas TRONCO PIRAMIDALES de CONSOLIDACION en HORMIGON ARMADO, suspendidas a BOVEDA AUTOPORTANTE y dispuestas a razón de: 1 por metro cuadrado de Bóveda de Fábrica de sólo 28 cms. de espesor, lo que indica que su concepción y ejecución no revestía carácter de elemento RESISTENTE.

9ª ETAPA - Ejecución de la BOVEDA AUTOPORTANTE de CONSOLIDACION en Hormigón Armado, (espesor 6 cms.) cordón inferior del TIMPANO ELASTICO, (Tímpano aligerado de la Bóveda Autoportante, y cercha de la futura cubierta), VIGA de BORDE de la BOVEDA AUTOPORTANTE, TIMPANO, CERCHA, CUMBRERAS, CORREAS, CONTRAVIENTAMIENTOS, MARCOS RIGIDOS, y CANALONES en Hormigón Armado, en el PRESBITERIO y ABSIDE. (Fig. 3 bis).

10ª ETAPA - Construcción de losas en H. A. sobre SACRISTIA y ALTAR del CARMEN, al nivel del piso de las TRIBUNAS, y anillos de H. A. en los LUNETOS de iluminación.

11ª ETAPA - DECIMBRADO de la Bóveda del PRESBITERIO, en las 3/4

partes de su longitud.

12ª ETAPA - Remoción del enduido y revoque existente de la Bóveda y penetración de las juntas.

13ª ETAPA - Construcción del Moldurón de unión de la Bóveda del PRESBITERIO con el RETABLO del ALTAR MAYOR.

14ª ETAPA - Revoque de la Bóveda del PRESBITERIO ya CONSOLIDADA en las 3/4 partes de su longitud.

Interesante resulta transcribir los principales párrafos de una exposición efectuada por el mismo Arquitecto Armas y en la cual expone las causas que motivaron los resquebrajamientos de la estructura del templo y los métodos que se usaron para consolidaría. Dice así:

"De esa investigación surgieron dos clases de causas: las remotas y las inmediatas. Entre aquéllas se hallan, en primer término, las motivadas por la muerte de Zaa y Faría, que fue el primer hecho trascendental en la obra de la Catedral, pues este hecho ha sido la causa de que la obra haya sido mutilada en sus puntos capitales y que la terminación de las partes superiores no se hallen a la altura del resto, coma lo hemos constatado en las labores realizadas, durante las cuales se han encontrado las bóvedas y los

Fig. 4. El altar mayor decorado por Ignacio Puig

arcos acuñados con cuña de madera blanca y ya casi hechas polvo; y también fueron halladas las bóvedas construidas con ladrillos menores que los de toda la fábrica, es decir, de 0,28 en lugar de 0,42, lo que demuestra que no se hicieron robustas como lo aconsejaba el informe del Comandante de Ingenieros, José García Martínez de Cáceres, en agosto de 1789, un año antes de ponerse la piedra fundamental. Pero lo más serio de la falta de Zaa y Faría es que, siendo la iglesia proyectada completamente simétrica, exceptuando la capilla del Santísimo, la fachada sur ostente recios contrafuertes, hoy ocultos por esos edificios que dan sobre la cable Sarandí y que en la fachada norte no existen. Mucho hemos pensado sobre las causas de esta diferencia y sólo encontramos una explicación: la existencia del Cementerio de la Catedral, hay desaparecido. Comprenderán ustedes que en ese desequilibrio entre los empujes de las bóvedas y los elementos para contrarrestarlos, dominaron los primeros, y así se ven claras las causas par las cuales se ha producido la rotura de los arcos las bóvedas en sus partes vitales.

Entre las causas remotas debe mencionarse asimismo la no terminación del exterior, prácticamente hasta el año 1856, y el no haberse construido una doble cúpula, como tienen todas las cúpulas importantes, pues sirviendo de protección al mismo tiempo permite armonizar la forma interior con la exterior, más monumental.

Entre las causas inmediatas se encuentran algunas importantes. Veamos: la Catedral tenia un techo que fue primero de tenía, luego fue sustituido por otro de hierro galvanizado, para, al fin, colocar una cubierta de baldosas, para lo cual fue necesario hacer un acordamiento en las líneas de las bóvedas con el fin de conseguir dos grandes pendientes, y aunque se hicieron empalomados, igualmente la carga fue excesiva para la capacidad de las bóvedas y sus arcos y con el inconveniente además de exponer a estos elementos a la inclemencia de nuestro harto variable

clima, resistiendo así el conjunto un nivel de esfuerzos combinados para los cuales no estaba preparado, terminando al fin par trastornar el equilibrio y trasponer el período elástico, comenzando el período de las deformaciones definitivas.

## SISTEMA CONSTRUCTIVO

Ahora bien; planteadas las cosas en esta forma, nos abocamos al "método", como dirían los médicos, vale decir, al tratamiento. Hubiera sido más fácil bajo la responsabilidad técnica, demoler las partes afectadas y construir de nuevo las bóvedas y la cúpula, pero nuestra intención fue salvar todo, respetar todo y solo corregir los defectos de la cúpula.

Así lo hicimos, volviendo a construir un techo que tiene triple fin, techo protector, sistema de sustentación, y evitar los empujes, es decir, hacer una estructura externamente isostática, una superestructura que está simplemente apoyada sobre los pilares resistentes; la que hacemos no es una simple plancha curva a la que se llama bóveda cáscara, sino una bóveda autoportante, es decir, la que se sustenta por sí misma, la que a su vez trasmite verticalmente sus cargas por los tímpanos, que son las partes en que las membranas y las vigas de borde se apoyan en los pilares.

Ese tímpano lo hemos transformado en este caso y aquí está la novedad, porque no tenemos noticias de que se haya hecho antes; la transformamos, repito, en un tímpano cercha, es decir, en una cercha unida a un marco rígido que, abrazando las bóvedas de las tribunas, anula las diferencias de empujes de la bóveda principal y las laterales. Ese tímpano cercha tiene tres funciones: es el tímpano de la bóveda autoportante que sustenta la antigua bóveda de fábrica concentrando las cargas en los pilares, sirve de apoyo a la estructura del techo y, en colaboración con el marco rígido, forma un conjunto exteriormente isostático.

Las diferentes cerchas están unidas entre sí a su vez, con correas de hormigón armada que completan la estructura que ha de recibir el techo de tejas.

## INAUGURACIÓN DEL ALTAR MAYOR RESTAURADO

En media de tantos trabajos y preocupaciones hubo una hora de intenso regocijo. El sábado Santo, 17 de abril de 1954, restaurado el Altar Mayor por el artista Ignacio Puig, pudimos escribir esta página llena de emociones:

Desde la fundación de Montevideo y cada vez que el calendario litúrgico ha marcada la fecha memorable del sábado santo, se ha entonado en el templo el himno sublime del Gloria in excelsis Deo.

De acuerdo con el variar de la historia fueron sin duda diversos los sentimientos que llenaban de emoción el corazón del celebrante que la cantaba y el de los fieles que la acompañaban. Ya fue el sacerdote español que agradecía a Dios el que hubiera sido la madre patria la elegida para descubrir y civilizar este Continente; ya fue el sacerdote patriota que bendecía a Dios por el don precioso de la independencia; ya el celoso Párroco que veía colmados sus anhelos de levantar un templo magnífico que perpetuaría la idealidad de una época y que sería legado cultural para las futuras generaciones; ya en fin las múltiples voces de Obispos y sacerdotes que cantaban exultantes la gloria de Jesucristo, la prolongación triunfal del culto sagrado y todos esos distintos acontecimientos que van jalonando la vida siempre renovada de nuestra madre la Iglesia.

El sábado santo de este año 1954, año Mariano por excelencia, tuvo también su motivo de honda emoción y de inenarrable alegría. Con el canto del Gloria que alaba a la divinidad y que ensalza a Jesucristo, el Arzobispo asistente de Pontifical, y el Párroco celebrante y la generosa donante y todo el enorme concurso de fieles que participaron de la ceremonia, ofrecían a Dios la magnificencia del Altar Mayor bellisimamente restaurado. Repicaban festivas las campanas, los acordes de la música sagrada llenaban las espaciosas naves, entonaba el selecto coro las estrofas del himno y lágrimas de emoción nublaban los ojos.

Después de tantos meses durante los cuales fue necesario celebrar las grandes ceremonias en un altar provisorio, al fin tenía nuestra Catedral el magnífico altar que le corresponde. Una nueva jornada se había cumplido en ese ya largo camino de la restauración del viejo templo y no cabía otra frase en tales circunstancias que la milenaria afirmación: Gloria a Dios en las alturas y paz en la tierra a los hombres de buena voluntad. (Fig. 4).

Pero esta alegría no puede ofuscar nuestra mente hasta hacernos olvidar que la obra reconstructiva, la más urgente y necesaria, está aún lejos de su meta. Aún queda por restaurar la nave central desde el frente hasta la cúpula y esta misma, en parte consolidada, espera su terminación.

Que la emoción y la alegría de la nueva etapa cumplida nos anime y aliente a seguir trabajando para que un final feliz corone nuestra obra.

En el año 1955 podían verse las grandes vigas de hormigón que consolidaban la estructura y sobre las cuales se colocarían las tejas protectoras como se ven en las figuras 5 y 6 y en el mismo año se habían quitado los apuntalamientos de las bóvedas en las tribunas y en la nave central apareciendo la belleza de sus líneas como puede verse en las figuras 7 y 8.

JRC
soñar, planificar,construir.
Más allá de construir edificios,
construimos el sueño de miles de uruguayos.
Para hacer un país mejor, para lograr el bienestar de nuestra gente es que día a día proyectamos nuevas oportunidades. Por que creemos que trabajando juntos, construiremos el país que tanto anhelamos.
OBRAS DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Estamos comprometidos con el desarrollo.
Martín Fierro: Martín Fierro 2581
Tel. 480 5590 - www.campiglia.com.uy
CAMPIGLIA
CONSTRUCCIONES
Por un país mejor.

Fig. 5. Las grandes vigas de hormigón que consolidan la estructura.

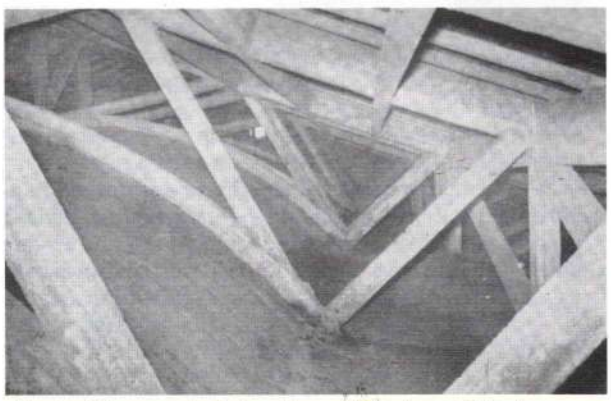


Fig. 6. Otro aspecto de las vigas. Al fondo se divisa la puerta de entrada al corredor que separa las dos cópulas.

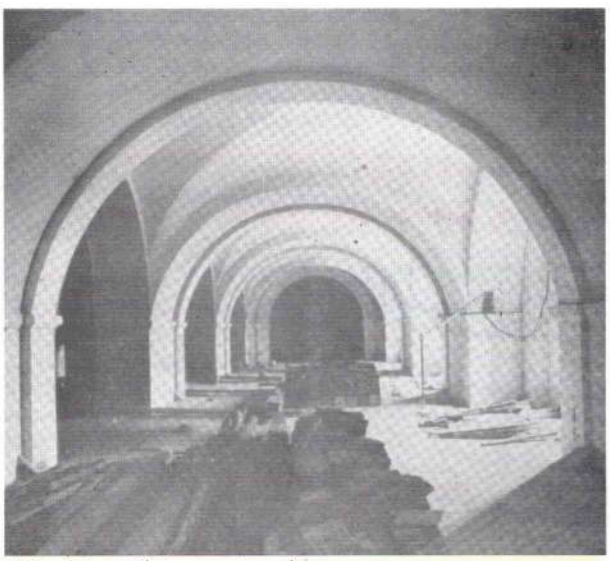


Fig. 7. Las tribunas restauradas

Fig. 8. La nave central terminada.

Se construyeron también los pisos de las tribunas en sólidas planchas de hormigón pues el piso de la tribuna que da sobre Sarandí estaba asentado sobre troncos de palma enteramente apolillados y el de la otra tribuna sobre una mampostería de ladrillos apoyadas ambas tribunas sobre las pequeñas bóvedas de las naves laterales gravitando su peso en forma peligrosa sobre aquellas.

En el mes de agosto de 1955 fue publicado un resumen de las obras realizadas y que nos parece conveniente reproducir en estas páginas porque tiene además datos importantes que no pueden ignorarse en un trabajo de esta índole. Dice así:

Es con intensa satisfacción que nos apresuramos a comunicar a nuestros lectores y a los amigos de la Catedral, que hemos terminado una gran etapa, que nos ha requerido 3 años de intensa y asidua labor, y podemos finalmente exteriorizar nuestra alegría por ese éxito que nos permite entregar a los que sienten veneración por este Templo de la catolicidad uruguaya, consolidado y restaurado en una de sus partes más básicas. Debemos recordar que el 22 de mayo de 1952 se iniciaron las obras por la empresa constructora de Isola y Armas con la colaboración del Ing. Broggi, destacado técnico que resolvió difíciles problemas con acertada eficiencia.

Terminadas las obras de consolidación del ábside y del presbiterio, de inmediato se enfrentó la consolidación de la base de la cúpula. Para ello fue necesario sustituir los arcos torales, por un sistema de dobles vigas y anillo que pasando por debajo de la cúpula, eliminaban el peso que recaía sobre los arcos del crucero, desapareciendo el riesgo de que hiciera crisis la inestabilidad latente en que se encontraban dichos arcos. A medida que se procedía a la ejecución de estos trabajos en la cúpula, se evidenciaba que la magnitud real de las dislocaciones en los elementos resistentes primitivos, superaban en forma realmente asombrosa a las que se había previsto y observadas al efectuar el análisis que motivaron esos trabajos. En esos momentos el Arquitecto Armas tuvo una visión global del riesgo inminente de derrumbe en que se encontraba, y resulta realmente impresionante el pensar en la magnitud del desastre que pudo haber ocurrido, de no haber tomado con prontitud y celo esas medidas de previsión.

Visto lo observado en la cúpula en cuanto a su faz resistente y estado de desagregación de los materiales, así como también de vicios constructivos, se acentuaron las investigaciones de las bóvedas a fin de evitar sorpresas desagradables. Practicadas éstas, se comprobó que la deformación real superaba la deformación aparente, y la entidad de las grietas precipitaba la posibilidad de un colapso.

Sobre las bóvedas del crucero gravitaba una sobrecarga inerte que fue totalmente eliminada al igual que en las bóvedas del presbiterio. Una bóveda autoportante, sus

tímpanos y vigas de borde correspondientes consolidaron las bóvedas de mampostería existentes.

Las sucesivas etapas comprendieron las bóvedas sobre la nave principal y bóvedas sobre las tribunas originariamente en entramado de madera y apoyados en arcos de albañilería, por losas de hormigón armado que descarguen sobre los cordones superiores de los marcos rígidos, elementos éstos que se construyeron para eliminar los empujes trasmitidos por las bóvedas.

Se trata de las vigas en celosía FHG que, arrancando del cuadrado de dobles vigas torales que soportan la cúpula, unen todos los tímpanos y terminan aferrando a una viga que, empotrada detrás del frontón curvo de la fachada, liga también a las dos torres. De todas las obras ejecutadas hasta el presente en esta etapa de las bóvedas, así como de las observaciones realizadas en nuestra Catedral, guardamos amplia documentación fotográfica que servirá como complemento importante de la historia de este proceso, justificando los dineros gastados.

Resumiendo, puede decirse que nuestra Catedral ha quedado completamente aligerada, ya que se han extraído hasta el presente alrededor de 3.300 toneladas de materiales inertes, aligerándose en 1.500 toneladas, pese a tener una estructura de hormigón armado que la pone a cubierto de todo riesgo.

## LA CÚPULA DE LA CATEDRAL, NUEVO Y MÁXIMO PROBLEMA

Desde el comienzo de las obras iniciadas por el Arq. Armas estaba pendiente el grave problema que configuraba la cúpula del templo y que venía complicándose desde largos años atrás. El adjetivo nuevo que ponemos en el título de este capítulo se refiere a esta jornada de la restauración de la Catedral pero como veremos el problema era muy antiguo. En efecto, en el mes de abril de 1855, y a pedido del Cura Rector de la Catedral D. Santiago Estrázulas y Lamas, los técnicos Antonio Paullier, José Peypoch, Inocencio Martinelli y Martín Cazenave presentaron un informe que el Párroco, con fecho 5 de mayo elevó al Ministro de Gobierno D. Alejandro Chucarro para que se tomaran las providencias del caso. El informe expresa lo siguiente:

"Montevideo, Abril 27 de 1855. - Sr. D. Santiago Estrázulas y Lamas: Los que suscribimos hemos reconocido la cúpula de la Iglesia Matriz según Ud. nos lo había encargado, a pesar de sernos muy extraño este encargo desde que existe una Comisión de inspección de Obras Públicas, a quien pertenece y está obligada a practicar esta clase de operaciones sin embargo como Ud. nos ha pedido nuestro parecer sobre el estado en que se encuentra la expresada cúpula y creyendo que podemos dar algunas luces sobre el estado del edificio, lo hacemos de un modo confidencial y sin permitir que nuestro informe sea publicado, par no entrar en ninguna polémica con nadie a este respecto. Según nuestra convicción es que la cúpula amenaza ruina, las grietas que tiene principalmente al Norte son considerables a pesar del poco tiempo que se hizo el revoque de la parte interior.

Creemos también que el abandono en que ha estado mucho tiempo el edificio habrá debilitado los materiales y por consiguiente el peso del cupulín ha hecho bajar la bóveda que no tiene bastante resistencia en sus flancos, lo que se demuestra por las grietas horizontal y vertical de la parte interior; en fin nos parece urgente una pronta compostura para evitar la continuación de la baja ya indicada, como también por ser de suma necesidad el que se haga picar el revoque de la parte interior de la cúpula a evitar que nadie se coloque debajo de ella porque hemos notado que se desprenden unos pedazos capaces de ocasionar grandes desgracias.

En cuanto a la clase de obra que nos ha parecido mejor y menos costo para remediar el mal, no trepidamos en adaptar los sunchos a arcos de fierro tan comúnmente empleados en esta clase de operaciones y que a nuestro entender no pasaría de un costo de mil quinientos a mil seiscientos pesos, no comprendiendo los revoques de la parte interior. Es todo lo que podemos indicar a Ud. sobre el particular.

Con tal motivo tenemos el honor de saludar a Ud. con la más alta consideración y aprecio". Siguen las firmas de los nombrados así como el recibo de los honorarios correspondientes que ascendieron a $ 38.32.

Los arreglos que entonces se hicieron no fueron de mucha eficacia por cuanto el 11 de febrero de 1857 el mismo sacerdote escribe otra vez al Ministro de Gobierno que ahora era Don Joaquín Requena: "Es esta Excmo. Sr. la tercera vez que llama la atención de Ud. después que estoy encargado de la Parroquia de la Iglesia Matriz para atraerlo a mirar con toda la detención que pide el asunto de que se trata el reparo serio e indispensable de la bóveda principal de la Iglesia y sobre todo de la media naranja.

Esta nota la escribo Ecmo. Sr. bajo la dolorosa impresión que he experimentado en este momento que son las doce del día, viendo que el agua de la lluvia que desciende, pasa par las grietas verticales de la media naranja para la que, las composturas hechas han sido inútiles y en la que V. E. ha invertido dinero que habrían bastado a hacer de nuevo esa parte del edificio, conforme al dictamen de los peritos que en marzo de 1855 reconocieron para mi el edificio y los que a nuevas instancias mías mandó V. E. a practicar un otro procedimiento.

Ahí está la mitad de la bóveda de la nave principal, descubierta de sus argamasas los escombros hacinados sobre la bóveda y la humedad que ha filtrado hasta los revoques interiores que se solapan y desprenden, los agujeros que se abrieron en el interior de la media naranja para los andamios y por último una multitud de vidrios que para colocar los mismos andamio rompieron y que me ha sido forzado hacer poner. Ahí está el resultado de lo que producen los trabajos irresponsables que no son sacados a propuesta". La nota continúa en parecidos términos y tuvo como resultados que Poncini en 1858 hiciera trabajos más prolijos pero dentro de la técnica entonces conocida y sin llegar a corregir los defectos fundamentales de toda la estructura.

Así pasaron cien años y al enfrentar nuestra generación la obra reconstructiva, con nuevos elementos y con nuevas técnicas fue necesario corregir fundamentalmente los defectos primitivos. El Arq. Ruano al terminar su obra de la fachada había manifestado su honda preocupación por el estado de la cúpula; el Arq. Armas había constatado la situación precaria de la misma y más tarde encontraría el mismo defecto que hallara Ruano en la fachada: los

**CONSORCIO TRACOVIAX S.C.**

CONSTRUCCIONES DE CARRETERAS,
PUENTES, OBRAS PORTUARIAS,
MOVIMIENTOS DE TIERRA, ETC.

Cerro Largo 1014 - Tel.: 908 4489 - 908 4469
Fax: 908 4003 - Montevideo

sunchos y arcos de fierro, carcomidos por la herrumbre, habían desintegrado la mezcla y deshecho los ladrillos.

Surgió entonces la misma situación que con la fachada: ¿no sería un delito histórico demoler esta cúpula edificada en las épocas del coloniaje y que varias generaciones habían estado contemplando?

Por eso el Arq. Armas resuelve realizar las nuevas etapas que a continuación se enumeran para salvar la primitiva cúpula.

## ETAPAS DE CONSOLIDACIÓN DE LA CÚPULA

Analizada cuidadosamente su mampostería, pudo constatarse la gravedad de sus "LESIONES", los "DEFECTOS CONSTRUCTIVOS" y el "ESTADO DE DESAGREGACION" de sus materiales, incapaces ya, de soportar por más tiempo, esfuerzos de TRACCION y CORTE. Confirmándose de este modo el dictamen del Arq. Ruano en el preciso informe producido el año pasado.

Su enorme peso, (del orden de 1.000.000 de kilos) gravitando sobre las PECHINAS y ARCOS TORALES, totalmente deformados y seccionados en su CLAVE, ponía en inminente PELIGRO de DERRUMBE, nuestro TEMPLO MAXIMO.

Técnicamente podían adoptarse varias soluciones, para evitar el derrumbe y la peligrosidad que tal desastre significaba, pero, sólo una gravitaba por su TRASCENDENCIA HISTORICA: conservar la MONUMENTAL CUPULA, tal cual había sido concebida y ejecutada por nuestros antecesores.

Esta solución, si bien la más lógica porque mantendría aparentemente intacta su ARQUITECTURA y su conservación como MONUMENTO HISTORICO, entrañaba desde el punto de vista técnico, las máximas dificultades y peligros.

Sin embargo, ésta ha sido la solución adoptada: "CONSOLIDAR LA CUPULA con una DOBLE ESTRUCTURA DE HORMIGON que REDUJESE AL MINIMO el PESO PROPIO de la IMPONENTE CARGA ACTUAL".

Un entramado de DOBLES VIGAS TANGENTES, a los perímetros interno y externo, penetrando en TUNEL, en el CILINDRO de la CUPULA, (Tambor) y ANILLOS por el INTRADOS y ESTRADOS del mencionado cilindro, transmitirán la CARGA ACTUAL, directamente a los sólidos PILARES de MAMPOSTERIA, descargando totalmente los ARCOS TORALES y las PECHINAS, estas últimas, mediante MENSULAS que arrancan en las PATINES, apoyos de las importantes VIGAS, CONSTITUYENDO EN SU CONJUNTO LA INFRAESTRUCTURA de la CUPULA.

La DOBLE SUPER-ESTRUCTURA terminará en el CORONAMIENTO del CILINDRO de la CUPULA, en dos ANILLOS de hormigón armado, uno por el INTRADOS, arranque de la MEMBRANA de CONSOLIDACION y sostén de la CUPULA ACTUAL, cuyo PESO PROPIO de 272 mil kilos será reducido a la MITAD. El otro, ANILLO del ESTRADOS, será arranque de una segunda CUPULA ALIGERADA, que proporcionará a la actual, PROTECCION TERMICA, DEFENSA contra los AGENTES ATMOSFERICOS y una línea ARQUITECTONICA que estará en consonancia, con los demás elementos de nuestro TEMPLO.

Se hicieron entonces los primeros trabajos y se abrieron los túneles en el cilindro de la cúpula y fueron colocadas las enormes vigas de hormigón de acuerdo a estas etapas:

1ª ETAPA. Penetración en TUNEL a través del macizo cilindro de la CUPULA para alojar las vigas del estradós (exteriores) 4 en total.

2ª ETAPA. Armado, encofrado y hormigonado de las grandes vigas de 13.75 mts. de luz con una sección de 0.50 x 1.40 mts.

Para dar una idea de la magnitud de estas vigas se emplearon 9.60 m. 3 de H. par cada viga.

3ª ETAPA. Penetración en TUNEL a través del macizo cilindro de la CUPULA para alojar las vigas del intradós (interiores) 4 en total.

4ª ETAPA. Armado, encofrado y hormigonado de estas vigas con igual cubaje de hormigón que las anteriores.

5ª ETAPA. Armado, encofrado y llenado de los anillos del intradós y estradós simultáneamente y en correspondencia con las etapas anteriores.

Al llegar a este capítulo de la obra no hubo más remedio que ceder ante la realidad desastrosa que ofrecía la cúpula; no era posible consolidarla; la realidad de las cosas imponía su demolición. Se había perdido sin duda algún tiempo y muchos jornales en la apertura de los túneles a través del cilindro de la vieja cúpula, pero las vigas de hormigón serían el recio fundamento de la nueva cúpula que había de construirse.

He aquí la explicación técnica que ofrece el Arquitecto Guillermo Armas: "Resueltos todos los problemas y ejecutadas casi todas las etapas de consolidación de las bóvedas con todo éxito, había que abocarse sin más dilaciones, al gravísimo problema de la cúpula, veamos ahora como fue el proceso. Habíamos efectuado casi al empezar las obras, las ocho vigas, que tienen por objeto asegurar la repartición de las cargas directamente, sobre los pilares, eliminando bajo la faz resistente, los cuatro arcos y las cuatro pechinas. Este trabajo aunque engorroso, se cumplió sin ninguna dificultad y logramos así estar preparados con una sustentación capaz de soportar las mil y tantas toneladas que pesaba la vieja cúpula que ya estaba totalmente apuntalada desde el piso de la nave.

Iniciamos nuestro trabajo, con un andamio exterior complementario del apuntalamiento interior, para poder hacer el análisis cuidadoso de las múltiples rajaduras que no obedecían de ningún modo, a los esfuerzos que la estática nos ha enseñado a analizar.

Llegamos con el andamio hasta el linternón y cual no sería nuestro asombro, cuando al apoyarnos en la cornisa esta oscilaba en forma tal que de inmediato dimos la orden de demolición que se realizó en tres días tal era el estado total de desintegración. Demolido el linternón se develó el misterio de las rajaduras que no obedecían a ningún estudio de esfuerzos. En el interior de la mampostería, se había enhebrado una estructura metálica, que al estar demolida hubiese parecido una jaula, si no hubiese sido que por la oxidación, pues se carcomieron los hierros de tal modo, que en algunos casos llegaron a la tercera parte de su espesor y se desintegró totalmente al quitarle la mampostería. Al terminar esta parte, ya pensamos que la cúpula no se salvaría, pues ya se vislumbraba que también la cúpula, estaría construida del mismo modo, agregando a todo esto, los anillos colocados por el Arq. Poncini en el año 1858.

Todas nuestras preocupaciones se confirmaron y también la cúpula, estaba construida con el mismo equivocado procedimiento, de incluir hierros en la mampostería, con el agravante para el caso de la cúpula, que los hierros estaban colocados casi en la parte exterior de la mampostería, que como sabemos tiene un coeficiente de dilatación muy diferente al del hierro. La demolición total de la cúpula se ordenó de inmediato y en pocos días se terminaba, es de hacer notar que el espesor no era el que se decía y es también de hacer notar que como dijimos alguna vez, esa cúpula debió haber sido la parte interior del proyecto y nunca se hizo la exterior, de ahí las proporciones y la ligereza de su construcción.

La nueva cúpula, cuya estructura de hormigón aseguró su inconmovible estabilidad, tiene además la virtud de

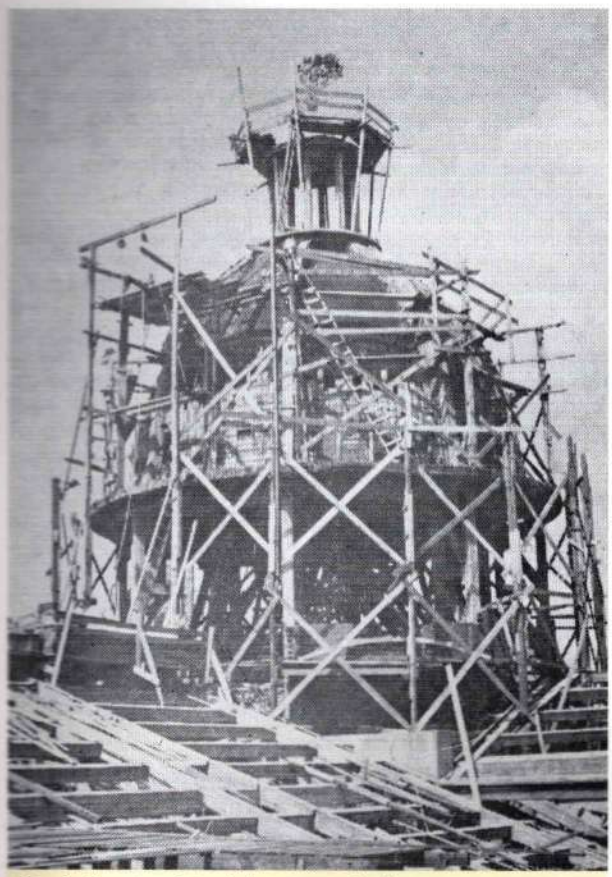


Fig. 9. Construcción de la nueva cúpula.

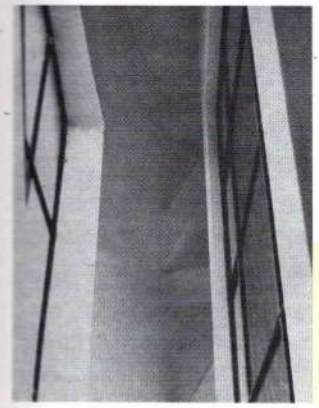


Fig. 10. Corredor entre ambas cúpulas. La exterior con el ventanal, la interior con el vitraux. Se ven las vigas que unen las dos cúpulas.

que con la doble cúpula, se ha logrado el equilibrio de la arquitectura exterior más monumental y el interior, aunque también monumental, menos importante, para armonizar con la escala interior de la Catedral. (Fig. 9).

Construida así la nueva cúpula es mucho más liviana que la anterior, pues la antigua tenía un tambor macizo, de un metro sesenta de espesor, en cambio en la actual se puede circular por dentro del tambor, solución ésta que ha permitido colocar las ventanas de protección de los vitraux con una separación de un metro, (Fig. 10) la que asegura la total protección de los vitraux que fueron totalmente reconstruidos en su armada de plomo, que como consecuencia de la presión del viento, habían sufrido, a tal extremo que en parte se habían desarmado. Mucho más se podría hablar técnicamente de la nueva cúpula pero nos limitaremos a decir que se han tomado toda clase de precauciones para que los vientos y las lluvias puedan ser desafiados y donde el hormigón poroso, el asfalto y los azulejos juegan un rol preponderante.

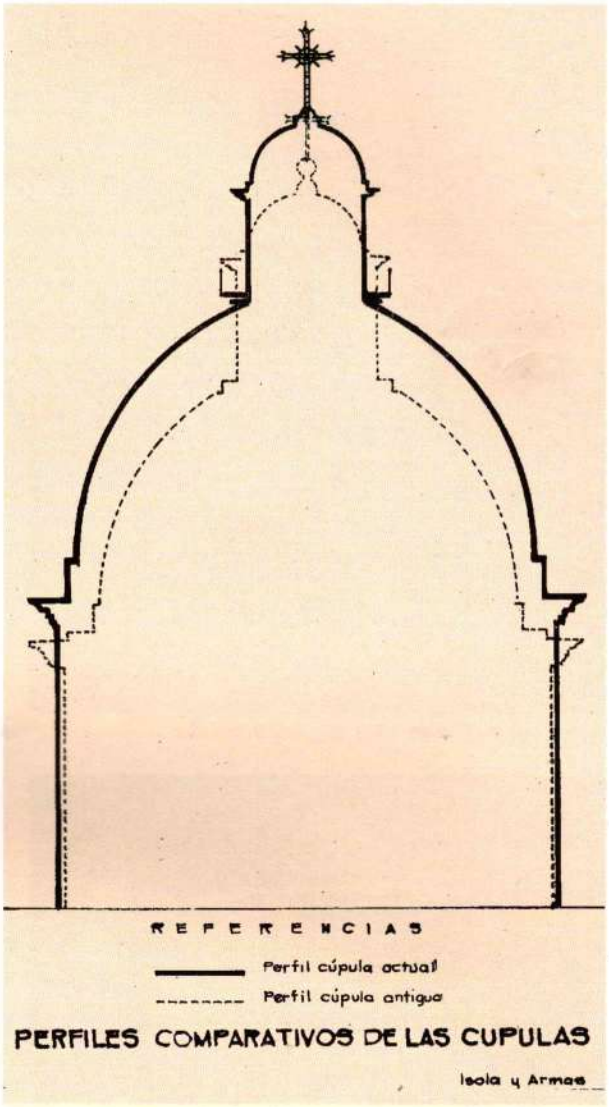



Fig. 11. Esquemas de las diferencias de medidas entre la cúpula primitiva y la actual.

Se puede asegurar y ya podemos hablar así, puesto que el comportamiento en estos dos inviernos ha sido perfecto, que la cúpula tendrá sin ningún inconveniente una vida muy superior a la antigua lo que ya es bastante decir.

En cuanto a la decoración exterior se ha tratado de seguir la antigua forma; pero perfeccionando los dibujos y las combinaciones de azulejos que han sido hechos en el país copiando los cinco modelos más bonitos de todos y que con ellos se pueden hacer una gran variedad de combinaciones todos ellos realzando la forma arquitectónica.

Los viejos arquitectos de la época del Renacimiento, al construir una cúpula la hacían siempre con el convencimiento de que la dejaban para la posteridad. Un eslabón más en la gran cadena de monumentos con que se enriquecía el acerbo de la civilización y que cada una de esas cúpulas quedarían coma un galardón de una época que fue sin duda grandiosa en este sentido.

Hay en nuestra época, fuera de algunos esfuerzos en ese sentido no nos cabe a los arquitectos hacer obras de esta clase, par esto nos sentimos honrados en haber tenido el privilegio también de haber dejado en nuestra vida de arquiteetos una cúpula la que es un timbre de honor y una gran satisfacción.

En verdad esta solución fue providencial pues pudo efectuarse un trabajo magnífico y levantarse una nueva

Fig. 12. La cúpula de 1804 que fue demolida.

Fig. 13. La nueva cúpula.

Fig. 14. Su Eminencia bendice la Cruz; el Párroco pronuncia la alocución; asisten Mons. Elizalde, el Arq. Guillermo Armas y Carlos A. López.

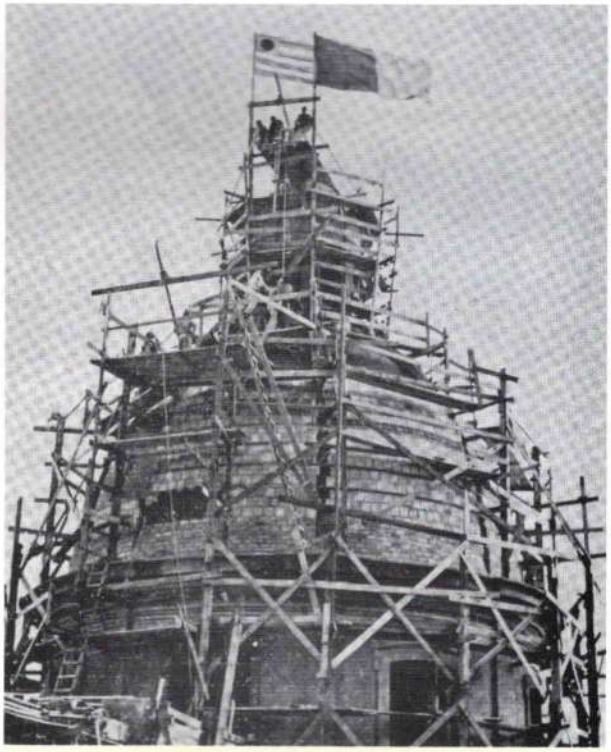


Fig. 15. La cruz bendecida se coloca en la nueva cúpula.

cúpula mil veces más airosa, más fuerte y más ligera en peso que la anterior. Basta contemplar las dos láminas que hemos colocado frente a frente (Figs. 12 y 13) para que cualquiera pueda notar las diferencias fundamentales entre ambas; además en la Fig. 11 se detalla la diferencia de medidas y volúmenes.

Fue emotiva la iniciación de la demolición de la cúpula. El 14 de diciembre de 1956 en un acto solemne presidido por Su Eminencia, el clero parroquial, la Comisión Pro Restauración, el Arquitecto y sus colaboradores y gran concurrencia de pueblo se bajó de lo alto de la cúpula la gran cruz que desde hacia más de siglo y medio abría sus brazos bendiciendo a la ciudad. Fue bajada lentamente por la fachada del templo recibida por Su Eminencia que la besó devotamente y colocada en la nave del templo entre la tumba de Mons. Vera y la Capilla del Santísimo, donde recibiría la veneración de los fieles como signo de nuestra Redención y donde esperaría el momento de volver a su encumbrado sitio.

El 15 de marzo de 1957 había quedado por completo demolida la vetusta cúpula, el cilindro de la misma, la media naranja y el cupulín todo había desaparecido; quedaban únicamente las recias vigas de hormigón fabricadas poco antes de la demolición.

El 27 de abril ya estaba sobre las mismas el armazón de madera de las 16 columnas del tambor prontas para ser rellenas con el sólido hormigón.

El 16 de setiembre del mismo año 57 se terminó la estructura de hormigón de la primera cúpula, llegando hasta el anillo del linternón y en diciembre estaba éste construido así como la segunda cúpula. En la interior irían otra vez colocados los magníficos vitraux de 1868 y en la cúpula exterior los ventanales protectores, habiendo entre ambas cúpulas un corredor de 1 metro de ancho por donde se puede circular cómodamente.

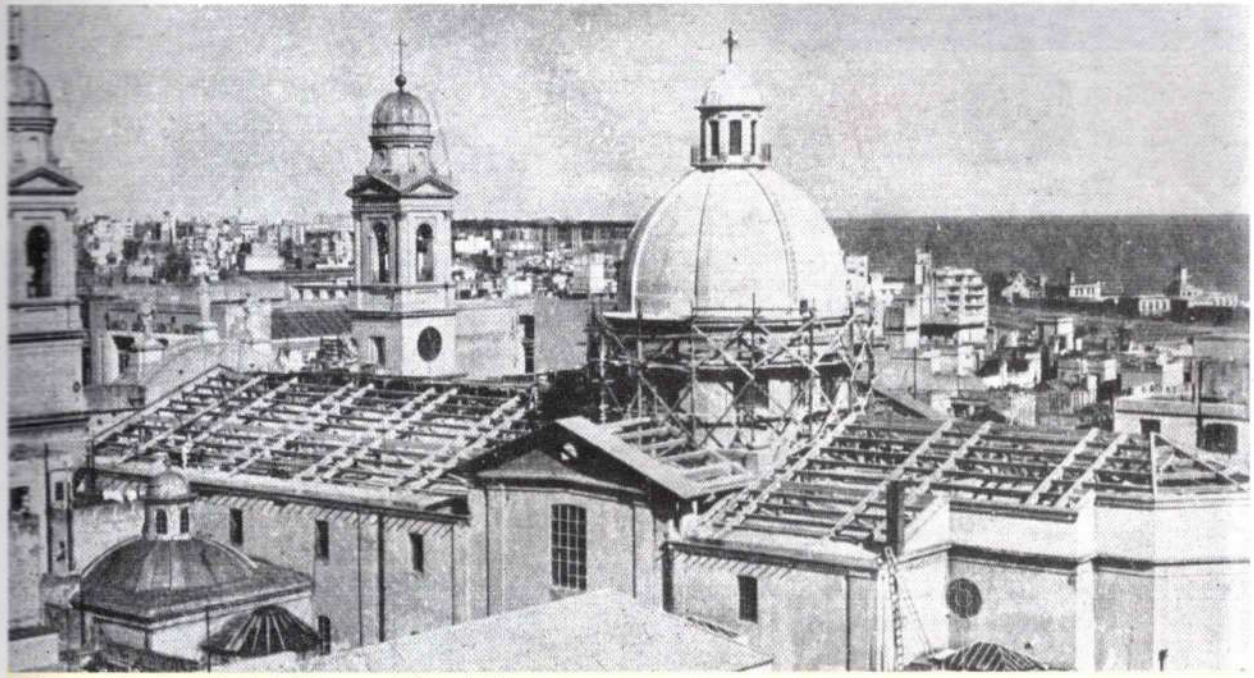


Fig. 16. La nueva cúpula cubierta con los azulejos.

Fig. 17. Las tejas cubren todo el techo de la Catedral.

El 19 de mayo de 1958 con una ceremonia semejante a la primera y después de una espera de un año y cinco meses volvió a levantarse la cruz, nuevamente metalizada, y quedó empotrada en lo alto del linternón. Figs. 14 y 15.

El 10 de junio comenzaron a colocarse los azulejos junto a la cruz y poco a poco toda la cúpula quedó cubierta con los mismos, de suerte que en diciembre de 1958, a los dos años de la demolición, la nueva cúpula quedó terminada. Figura 16. Las fotografías que se publican demuestran claramente el proceso de la edificación de la nueva cúpula, la tarea que debió afrontarse y la depurada técnica del trabajo efectuado.

Es menester decir que el diámetro de esta cúpula alcanza a 13 metros con cincuenta y dos; que su altura, desde el balcón interior que la circunda, es de 23 metros con treinta y ocho y como desde el piso del templo hasta el balcón hay 19 metros con treinta y uno, resulta que la altura total a que alcanza es de 42 metros con sesenta y nueve. Por último destacamos que el costo total de la misma ascendió a $ 282.260.36

Cuando se volvió a colocar la cruz sobre la cúpula se inició la campaña para conseguir los 40.000 azulejos que se necesitaban para recubrirla y mientras se colocaban, se hizo la campaña para conseguir las 150.000 tejas que habían de protejer todo el techo de la Catedral. El 13 de mayo de 1959 comenzaron a colocarse y cuatro meses más tarde, en setiembre del mismo año quedaba este trabajo terminado. Fig. 17.

**En el próximo número de *Revista Ingeniería* se publicará la segunda y última parte de este artículo**

# Nuevo sistema de chapa y elastómeros revoluciona la construcción de cascos de barcos

Un sistema de placas sandwich (Sandwich Plate System - SPS), que consiste en inyectar un elastómero (poliuretano sólido) entre dos placas de acero durante el proceso de construcción, permite reducir los refuerzos estructurales en los cascos de los barcos, y por ende peso, costos y tiempo de construcción.

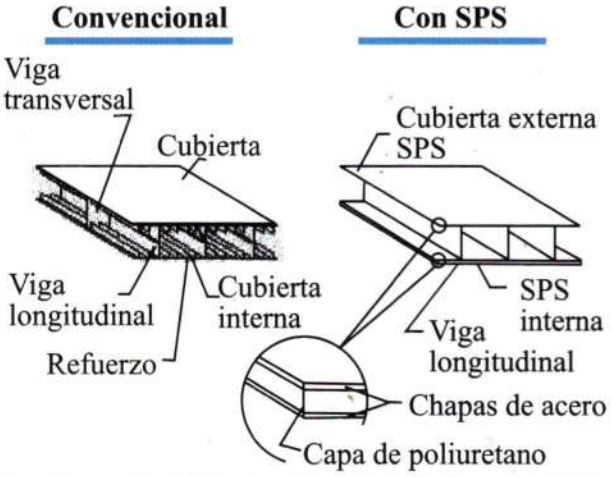
El sistema fue desarrollado entre Intelligent Engineering Ltd (IE) y Elastogram GmbH, un miembro del grupo BASF, y cuenta en principio con la aprobación de Lloyd´s Register..

El SPS elimina las vigas transversales y los refuerzos longitudinales, sin comprometer la resistencia y con una gran reducción en el peso. Se logra reducir hasta un 20% de peso en comparación al acero reforzado pero a igual resistencia, y un 50% menos de soldaduras.

En un barco-tanque con una capacidad de carga de 10.130 m3, por ejemplo, las alternativas diseñadas con SPS prometen:

- mejor performance en caso de colisiones o encalles
- eliminación de 9.000 m de Irregularidades
- eliminación de 3.700 probables detalles de fatiga y corrosión
- reducción en un 40% del volumen de soldaduras

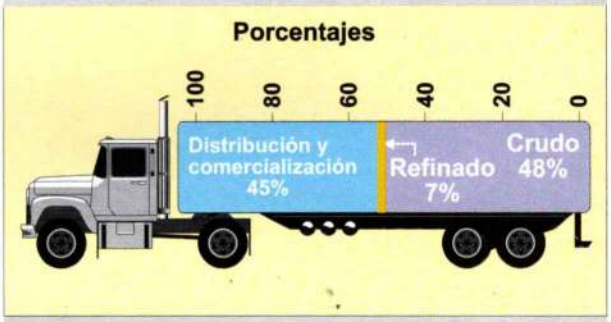
En 1999 el barco Pride of Cherbourg fue dotado con una cubierta de SPS. Un año más tarde se pudo notar durante una inspección, que la cubierta no había sufrido ninguna desviación.




**Fuentes: revista Marine Log Nov.2000. Elastogram GmbH**

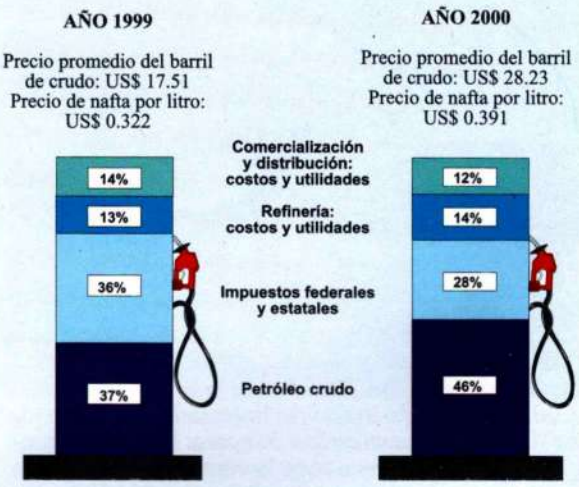
## Composición promedio del precio de venta al público de fuel oil calefacción en E.E.U.U.

AÑO 1999




**FUENTE: D.O.E (Department Of Energy), USA**
**E.I.A (Energy Information Agency), USA**

## Composición promedio del precio de venta al público de nafta en E.E.U.U.




**NOTA: El precio de la nafta es un promedio anual del precio en todos los estados.**

**FUENTE: D.O.E (Department Of Energy), USA**
**E.I.A (Energy Information Agency), USA**

# El respaldo de la calidad.

**Saceem**, empresa multidisciplinaria de Ingeniería y Construcción mantiene el liderazgo en base a su capacidad institucional de gestión.

Máximos niveles de tecnología y profesionalismo para el estricto cumplimiento de la calidad y las expectativas de sus clientes.

**Saceem**

Treinta y Tres 1468
Tel. 916 02 08 - Fax 916 39 39

## Para que todos podamos respirar...

## Montevideo tu ambiente ¡cuidalo!

INTENDENCIA MUNICIPAL DE MONTEVIDEO
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AMBIENTAL

# Facultad de Ingeniería

## Postgrados

**Master en Gerencia de Tecnología de Información** (2 años)
Orientado a profesionales que deseen desarrollarse como *Chief Information Officer* (CIO) de organizaciones. Este postgrado capacita para comprender la tecnología de información, descubrir oportunidades tecnológicas, desarrollar estrategias de negocios e instrumentar reingeniería de procesos para participar en la nueva economía.

**Diploma en Tecnología de Información y Reingeniería** (1 año)
Dirigido a profesionales interesados en incorporar habilidades en las nuevas tecnologías de información, a ser aplicadas en proyectos que aporten ventajas competitivas en las empresas.

**Diploma en Telecomunicaciones y Redes** (1 año)
Orientado a formar especialistas en redes de transmisión de datos con habilidades para gestionar recursos estratégicos y tomar decisiones competitivas. La facultad dispone de un laboratorio CISCO con las últimas tecnologías para comunicación de datos y servicios múltiples en redes IP.

## Ciclos de especialización

**Desarrollador de Aplicaciones GeneXus** (1 año)
Brinda formación que permite liderar y administrar proyectos de software, utilizando técnicas de ingeniería de software incremental con la herramienta GeneXus. Estudia la construcción de aplicaciones en Internet y el desarrollo de modelos de *Data Warehousing* mediante GXplorer.

**Desarrollador de Aplicaciones Internet** (1 año)
Capacita a profesionales de sistemas en la construcción, desarrollo y soporte de sitios Web, en las áreas de software, transmisión de datos, diseño, aplicaciones, seguridad y modelo de negocios.

Cuareim 1451 - Tel.: 902 15 05 - Fax: 900 29 52
**info@ort.edu.uy - www.ort.edu.uy**

ORT
UNIVERSIDAD ORT
Uruguay